4° Phys. g. 178 s/6

<36618506420012
<36618506420012
Bayer. Staatsbibliothek

Phys. g. 178³ 4°

WILHELM WEBER'S WERKE

HERAUSGEGEBEN

VON DER

KÖNIGLICHEN GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN

ZU

GÖTTINGEN

SECHSTER BAND

MECHANIK DER MENSCHLICHEN GEHWERKZEUGE

BESORGT DURCH FRIEDRICH MERKEL UND OTTO FISCHER

MIT XVII TAFELN UND IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BERLIN
VERLAG VON JULIUS SPRINGER
1894

137 G Braun

WILHELM WEBER hat dem ihm wiederholt ausgesprochenen Verlangen nach einer Gesammtausgabe seiner Werke bei aller Bescheidenheit seiner Meinung über den Werth der eigenen Schriften schon im Jahre 1890 nachgegeben. Er hat dann seinerseits den lebhaften Wunsch ausgesprochen, dass die Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, welche die Herausgabe der Werke seines grossen Freundes GAUSS besorgt hat, auch seine Werke herausgebe. Die Erfüllung dieses Wunsches, welchem sich seine Verwandten gern anschlossen, hat sich die Königl. Gesellschaft durch die unterzeichnete Kommission beeifert in Angriff zu nehmen und ist zu dem Zwecke mit Herrn Professor HEINRICH WEBER in Braunschweig und Herrn Professor WILHELM BRAUNE in Leipzig als den Vertretern der Familie WILHELM WEBER's in Verbindung getreten.

Zunächst hat dieselbe an Herrn Julius Springer in Berlin einen Verleger gefunden, welcher diesem wissenschaftlichen Unternehmen das volle Verständniss entgegenbringt, für eine würdige Ausstattung sorgen und einen, dem Wunsche nach ausgedehnter Verbreitung dieser so sehr lehrreichen Werke förderlichen, möglichst geringen Preis stellen wird.

Von den Erben von ERNST HEINRICH WEBER und von EDUARD WEBER sind die Autorrechte der von diesen zusammen mit ihrem Bruder WILHELM WEBER verfassten Werke an die *Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* übertragen worden. Die Verlagshandlungen der grösseren dieser Schriften, Herr Fr. Riehm in Basel für die 1825 erschienene *Wellenlehre*, und die Dieterich'sche Buchhandlung in Göttingen für die 1836 erschienene *Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge*, haben ihre Genehmigung zum Abdruck der Schriften in den gesammelten Werken ertheilt.

Die Königlich Sächsische Gesellschaft der Wissenschaften in Leipzig hat bereitwillig den Abdruck der in ihren Abhandlungen erschienenen

Fortzetzung auf der dritten Umschlagseite.

WILHELM WEBER'S WERKE

HERAUSGEGEBEN

VON DER

KÖNIGLICHEN GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN

ZU

GÖTTINGEN

SECHSTER BAND

MECHANIK DER MENSCHLICHEN GEHWERKZEUGE

BESORGT DURCH FRIEDRICH MERKEL UND OTTO FISCHER

MIT XVII TAFELN UND IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BERLIN
VERLAG VON JULIUS SPRINGER
1894

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Die Herausgabe des vorliegenden sechsten Bandes der WEBER'schen Werke hatte W. BRAUNE in Leipzig übernommen, welcher nicht nur dem WEBER'schen Hause verwandtschaftlich nahe stand, sondern auch seiner ganzen Arbeitsrichtung nach als der berufenste Herausgeber der „Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge" angesehen werden musste. Wie schon bei zahlreichen anderen Arbeiten, so hatte er auch diesmal OTTO FISCHER in Leipzig zur Mitarbeiterschaft aufgefordert. Ehe jedoch beide in die Arbeit eintreten konnten, wurde W. BRAUNE durch einen vorzeitigen Tod der Wissenschaft entrissen. An seine Stelle trat im Auftrag der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften deren ordentliches Mitglied, FR. MERKEL in Göttingen, welcher nun in Gemeinschaft mit O. FISCHER die Ausgabe besorgte.

Im Oktober 1893.

FR. MERKEL in Göttingen. O. FISCHER in Leipzig.

Inhaltsverzeichniss zum sechsten Bande.

I. Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. Eine anatomisch-physiologische Untersuchung von W. Weber und E. Weber. 1836. 1

II. Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge von W. Weber und Ed. Weber. Autoreferat in Göttingische gelehrte Anzeigen 10., 11., 12. Stück. 1837. 306

III. Ueber die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge, nebst der Beschreibung eines Versuchs über das Herausfallen des Schenkelkopfes aus der Pfanne im luftverdünnten Raume. Poggendorff's Annalen, Bd. XL. 1837. 317

Mechanik

der

menschlichen

Gehwerkzeuge.

Eine

anatomisch-physiologische Untersuchung

von den Brüdern

Wilhelm Weber
Professor in Göttingen

und

Eduard Weber
Prosector in Leipzig.

Nebst 17 Tafel anatomischer Abbildungen.

Vorwort.

Die Bewegungen, die der Mensch beim Gehen und Laufen ausführt, eignen sich eben so für eine genauere Untersuchung, wie mehrere andere bewunderungswürdige Bewegungen des menschlichen Körpers, z. B. die des Herzens und der Lungen; denn es ist hierbei möglich, vieles genau zu messen und durch die Anwendung der physikalischen Methode der Untersuchung auf die Physiologie zu sicheren Thatsachen zu gelangen, auf die man weiter fortbauen kann. Wir entschuldigen es daher nicht, dass wir unsere Bestrebungen gerade auf jene Bewegungen gerichtet haben, um so weniger, da bisher in dieser Beziehung sehr wenig, oder fast gar nichts geschehen war. Wir hofften, dass eine solche Untersuchung, ernstlich und geschickt geführt, uns wenigstens mittelbar zu manchen neuen Resultaten leiten würde. Denn so wie ein Reisender zu neuen Bemerkungen auch in einem übrigens wohlbekannten Lande geleitet wird, wenn er dasselbe mit einem neuen, ihm eigenthümlichen geognostischen, botanischen, historischen, oder anderem Interesse bereist und durchsucht, so liess sich erwarten, dass, wenn wir nur erst die Bewegungen des Gehens recht genau kennten, wir auch manche zu diesen Bewegungen dienende Einrichtungen des menschlichen Körpers von einem uns eigenthümlichen Gesichtspunkte aus betrachten würden. — Wenn wir aber auch überzeugt sind, dass die Wahl unseres Gegenstandes keiner Vertheidigung bedarf, so wollen wir doch den wahren Grund nicht verschweigen, der uns besonders getrieben hat, diesen Gegenstand lange Zeit mit vereinten Kräften beharrlich zu verfolgen. Es war die Freude, die wir in einer gemeinsamen Beschäftigung fanden, und zwar in einer Beschäftigung, zu welcher jeder von uns eigenthümliche Kräfte und Hülfsmittel mitbrachte, und die von dem anderen, weil sie ihm fehlten, um so höher angeschlagen und geschätzt wurden. Der Mensch ist nie fähiger und beharrlicher bei wissenschaftlicher Forschung, als bei solcher wechselseitiger Theilnahme und Anregung, die nicht erst nach vollendeter Arbeit, sondern während ihres ganzen Verlaufs Statt findet. Wir fügen hinzu, dass uns diese Arbeit um so mehr gut gewählt zu sein schien, weil sie keine sehr grossen äusseren Hülfsmittel erforderte, die wir nicht in unserer Macht gehabt

hätten. Was wir hatten, schien zu dieser Untersuchung hinzureichen, nämlich die Gelegenheit, mannigfaltige Versuche mit todten Körpern auf der Anatomie in Leipzig vorzunehmen, und zu Beobachtungen an lebenden Menschen mancherlei Instrumente aus der physikalischen Sammlung in Göttingen zu entlehnen, die, wenn sie auch nicht den an die mechanische Kunst zu machenden Forderungen ganz entsprachen, doch zu dieser Untersuchung genügten.

Man könnte vielleicht daran zweifeln, dass es überhaupt möglich sei, vom Gehen und Laufen eine Theorie zu geben, da wir keine Gehmaschinen sind, und also diese Bewegungen durch die Freiheit unseres Willens sehr mannigfaltig abgeändert werden. In der That würde es ein vergebliches Bemühen sein, wenn man die Gesetze bestimmen wollte, nach denen ein erwachsener Mensch sich bewegen würde, der früher nie seine Beine gebraucht hätte und zum ersten Male zu gehen versuchte. Ein solcher Mensch würde von der Freiheit im Gebrauche seiner Muskeln die willkürlichste und regelloseste Anwendung machen, zumal wenn ihm kein Muster zur Nachahmung gegeben wäre. Er würde bald auf diese, bald auf jene Weise zu seinem Zwecke zu gelangen suchen. Aber eine lange Erfahrung lehrt uns, wie wir den Mechanismus unseres Körpers zum Gehen und Laufen am vortheilhaftesten gebrauchen können, d. h. wie wir diese Bewegungen mit dem geringsten Kraftaufwande am längsten und mit dem besten Erfolge fortsetzen können. Da sich nun die Kenntniss des vortheilhaftesten Gebrauchs der Glieder durch Nachahmung von Geschlecht zu Geschlecht fortpflanzt, und also viele Menschen durch ihr Bedürfniss und durch die Gewohnheit genöthigt werden, davon Gebrauch zu machen, so stimmt in der That die Art und Weise des Gehens und Laufens, die man durch die Betrachtung des Gehmechanismus als die vortheilhafteste erkennt, mit einem guten Gange und Laufe, wie man ihn bei den meisten beobachtet, der menschlichen Freiheit ungeachtet, überein. Der Mensch bindet seine Bewegungen an bestimmte Regeln (wenn er auch diese Regeln nicht in Worten auszusprechen weiss), und diese Regeln sind ganz auf den Bau seines Körpers und auf die gegebenen äusseren Verhältnisse begründet, und lassen sich daher hieraus wieder herleiten. Das Princip, nach welchem allein jene Regeln aus diesen Umständen hergeleitet werden können, ist offenbar das der geringsten Muskelanstrengung, durch welche der Zweck des Gehens bei gegebenem Bau des menschlichen Körpers und unter gegebenen äusseren Verhältnissen zu erreichen möglich ist. Auf dieses Princip bauend muss es nicht blos möglich sein, die Gesetze des Gehens und Laufens, wie sie von geübten Gängern und Läufern beobachtet werden, sondern auch die Gesetze unzähliger anderer Thätigkeiten und Bewegungen, die der

Mensch häufig übt, und in deren Ausführung er eine gewisse Virtuosität erreicht, zu bestimmen, z. B. die Gesetze des Reitens. Denn auch hier darf man annehmen, dass der Mensch durch viele Uebung endlich die Art des Sitzens und diejenigen Handhabungen ausfindig mache, die ihm die geringste Anstrengung verursachen, die er am längsten fortzusetzen vermag, und die dabei zur Erreichung seines Zwecks am geeignetsten sind, und dass er endlich diese zur unverbrüchlichen Gewohnheit mache. Der Zweck der Schönheit braucht dabei gar nicht besonders in Betracht gezogen zu werden, weil die Schönheit der Bewegungen eine nothwendige Folge von der verhältnissmässigen Ruhe des Körpers und der verhältnissmässig geringen Anstrengung desselben bei diesen Bewegungen ist, und der Sicherheit, mit der sie allmählig und ordnungsmässig ausgeführt werden.

Die Aufmerksamkeit der Aerzte wünschen wir besonders auf die Versuche zu lenken, durch welche wir die Wirkungsart mehrerer Gelenke, namentlich die des Hüftgelenks, des Kniegelenks, des Fussgelenks, der Sesambeinchen und des Ellenbogengelenks genauer zu erforschen uns bemüht haben. Wir hoffen, dass dadurch die Physiologie dieser Theile in manchen Stücken aufgeklärt und auch einiger Nutzen für die praktische Medicin entspringen werde. Die hierher gehörende Beobachtung, dass der Oberschenkelkopf durch den Druck der atmosphärischen Luft in der Pfanne erhalten werde, haben wir schon vor einem Jahre den deutschen Naturforschern in Bonn vorgelegt, und durch Versuche am Leichname den Beweis geführt. Seitdem sind die Versuche, durch welche dieser Satz bewiesen wird, auch in *Breslau* und in *Pavia* mit dem nämlichen Erfolge wiederholt worden, und es scheint durch diese bisher unbekannte Einrichtung des Hüftgelenks einiges Licht auf eine dunkle Krankheit, auf das freiwillige Hinken, geworfen zu werden.

Um die Wirkungsart der verschiedenen Gelenke zu erkennen, haben wir durch genaue Instrumente den Grad bestimmt, bis zu welchem die Gliedmaassen bei unverletzten Bändern nach verschiedenen Seiten gebogen, gestreckt oder gedreht werden können. Hierauf haben wir irgend ein bestimmtes Band durchschnitten und es dadurch ausser Wirksamkeit gesetzt, und dann durch wiederholte Messungen bestimmt, welche Veränderungen in der Bewegung durch den Hinwegfall dieses Bandes entstanden.

Die Krümmung der Gelenkoberflächen haben wir dadurch anschaulich gemacht, dass wir die frischen Knochen in der Richtung der Bewegung durchsägten, diese Knochen, wie die Stempel eines Holzschnitts, einsetzen und vom Buchdrucker abdrucken liessen. Dadurch, dass wir diese Knochen in Gyps abgegossen und dann stereotypirt haben, war es uns möglich, diese Abdrücke nach Belieben zu vervielfältigen und

sie auch dieser Schrift beizufügen. Sie sind die naturgetreuesten Abbildungen, die man haben kann. Auf gleiche Weise haben wir die Lehre von der Krümmung der Wirbelsäule, von der Neigung des Beckens, von der Gestalt der Zwischenwirbelscheiben aufzuklären gesucht, indem wir den ganzen Rumpf in Gyps eingossen, ihn in seiner Mitte der Länge nach durchsägten, und die Schnittfläche stereotypiren und abdrucken liessen. Durch diese Versuche, so wie durch zahlreiche, an 15 Soldaten vorgenommene Messungen hat es sich gezeigt, dass das Becken nicht nur bei dem weiblichen, sondern auch bei dem männlichen Geschlechte sehr stark geneigt ist, und dass die besten Abbildungen der männlichen Skelete in dieser Beziehung fehlerhaft sind. Wir haben Tafel I das berühmte von Albin dargestellte Skelet mit Verbesserung der fehlerhaften Neigung des Beckens kopiren lassen, und durch Linien gezeigt, wie viel hier der Fehler mindestens betrug.

Diese Bemerkung ist für den Maler wichtig: sie wird in Zukunft verhüten, dass ihm durch dergleichen Abbildungen eine unrichtige Vorstellung eingepflanzt werde, die er später durch Beobachtung des lebenden Menschen wieder los zu werden suchen muss. Auch die Angabe der Punkte, um welche sich die Knochen in den Gelenken drehen, kann dem Maler nützlich werden. Diese Punkte liegen nicht in den Gelenken, sondern über und unter den Gelenken. Kennt man sie, so kann man die gezeichneten Knochen in jeder Stellung richtig auftragen. Wir verweisen in dieser Hinsicht auf Tafel XV und XVI. — Weniger, als die Anwendung auf die Malerei, haben wir die auf die Militärwissenschaft wegen der in dieser Beziehung uns mangelnden Kenntnisse erörtern können. Wir überlassen daher diese Anwendung der Beurtheilung der Sachverständigen, und wünschen, dass sie besonders dem dritten Theile einige Aufmerksamkeit schenken. Für diejenigen, welche sich für den Gegenstand im Allgemeinen interessiren, ist in dem ersten Theile eine ausführliche Darstellung und am Schlusse des vierten Theils, S. 291, eine ganz kurze Uebersicht gegeben worden.

Inhaltsverzeichniss.

Einleitung.

Seite

§ 1. Zweckmässige Einrichtung des menschlichen Körpers zur Fortbewegung in Vergleichung mit den Wagen . 3

§ 2. Die Mechanik der Gehwerkzeuge findet eine Anwendung bei der Abbildung gehender Menschen . 5

§ 3. Die Mechanik der Gehwerkzeuge findet eine Anwendung bei der Marschordnung der Truppen. Ihr Nutzen für die Physiologie 8

§ 4. Eintheilung der Untersuchungen über die Gehwerkzeuge in Experimental-Untersuchungen und in theoretische. Es wird diesen Untersuchungen eine allgemein verständliche und übersichtliche Darstellung der Lehre vom Gehen und Laufen vorausgeschickt, und es folgt ihnen eine historische Zusammenstellung dessen, was Andere über diesen Gegenstand gelehrt haben . . . 8

Erster Theil.

Uebersichtliche Darstellung der Lehre vom Gehen und Laufen.

Allgemeine Betrachtungen über die Einrichtungen im menschlichen Körper, welche auf das Gehen und Laufen abzwecken.

§ 5. Eintheilung des Körpers in den beim Gehen zu tragenden Theil und in die tragenden Stützen . 13

§ 6. Das am Rumpfe hängende Bein ist sehr beweglich 13

§ 7. Die Beine können am Rumpfe wie Pendel hin und her schwingen 15

§ 8. Die Beine sind Stützen, welche sich beträchtlich verlängern und verkürzen können . 16

§ 9. Das Bein trägt, wenn es beim Gehen den Rumpf in schräger Richtung unterstützt, nicht blos einen Theil seiner Last, wie eine feste Stütze, sondern seine ganze Last durch die Kraft, durch die es sich verlängert

§ 10. Die Beine tragen den Rumpf beim Gehen nicht allein durch die Steifheit ihrer Knochen, sondern zum Theil auch durch Muskelkraft 18

§ 11. Ueber die Fleischbündel (Muskeln), welche das bewegliche Knochengerüst 19 des Beins beugen und strecken . 20

Ueber das Gehen.

Beschreibung der Bewegungen, welche ein Bein während zweier auf einander folgender Schritte macht.

§ 12. Jedes Bein steht beim Gehen abwechselnd auf dem Boden, und wird abwechselnd vom Rumpfe, an dem es hängt, getragen 22

§ 13. Jedes Bein wirkt beim Gehen theils als eine tragende Stütze, theils als ein fortschiebendes Stemmwerkzeug 23

Seite

§ 14. Das Bein ändert zwei Mal seine Gestalt, während es auf dem Boden aufsteht . 24
§ 15. Die Verlängerung des Beins beim Stemmen geschieht zuerst im Kniegelenke und hierauf im Fussgelenke 25
§ 16. Vor der Verlängerung des Beins beim Stemmen wickelt sich der Fuss mit einem Theile seiner Sohle oder mit der ganzen Fusssohle auf ähnliche Weise am Boden ab, wie ein auf dem Boden fortrollendes Rad 25
§ 17. Aufeinanderfolge der Bewegungen des Beins während es am Rumpfe hängt und, durch seine Schwere getrieben, von hinten nach vorn schwingt . . 26

Betrachtungen über die Bewegungen des rechten und des linken Beins, welche während eines Schritts gleichzeitig erfolgen.

§ 18. Bei jedem Schritte, den wir beim Gehen machen, kann man zwei Zeiträume unterscheiden, einen längeren, wo der Rumpf mit dem Boden nur durch ein Bein, und einen kürzeren, wo er durch beide Beine in Verbindung ist . 28

Betrachtungen über die Kräfte, welche beim Gehen auf den Rumpf wirken.

§ 19. Der Rumpf verhält sich beim Gehen wie ein am unteren Ende unterstützter Stab, der vorwärts geneigt fortgetragen wird 30
§ 20. Die Geschwindigkeit des Gehens lässt sich dadurch vergrössern, dass man die Schritte schneller auf einander folgen lässt und zugleich sie länger macht 31
§ 21. Kennzeichen und Bedingungen für das langsame und schnelle Gehen . . 31
§ 22. Die Zahl der Schritte, die ein Gehender in einer gegebenen Zeit macht, oder ihre Dauer, hängt erstlich von der Länge des am Rumpfe hängenden, gleich einem Pendel von hinten nach vorn schwingenden Beins ab, zweitens von der früheren oder späteren Unterbrechung dieser Schwingung durch das Aufsetzen des schwingenden Beins auf den Fussboden 33
§ 23. Es giebt zwei dem Menschen natürliche Gangarten: den *gravitätischen Schritt*, bei welchem der Rumpf sehr gerade und am höchsten über den Erdboden hin getragen wird, und den *Eilschritt*, bei welchem der Rumpf mehr geneigt und in geringerer Entfernung vom Boden (also auf gebogenen Beinen) getragen wird . 36
§ 24. Vertikale Schwankungen des Körpers beim Gehen. (Sie sind auch bei schnellem Gehen klein — sie verhüten das Uebermaass der Beschleunigung — den äusseren veränderlichen Einflüssen stets angemessen, erhalten sie das Gleichmaass der Schritte) . 37
§ 25. Ueber die Drehung des Rumpfes beim Gehen 38

Ueber das Laufen.

Allgemeine Betrachtungen über das Laufen.

§ 26. Das Laufen unterscheidet sich vom Gehen dadurch, dass an die Stelle des Zeitraums beim Gehen, wo beide Beine auf dem Boden stehen, ein Zeitraum tritt, wo kein Bein den Boden berührt 39
§ 27. Eintheilung des Laufs in Eillauf und Sprunglauf 42

Ueber den Eillauf.

§ 28. Die vertikale Bewegung des Rumpfes ist beim Eillaufe sehr klein . . . 42
§ 29. Der Zeitraum, wo ein Bein beim Eillaufe frei in der Luft schwebt, ist grösser, als der Zeitraum, wo es auf dem Boden steht 43
§ 30. Beschreibung der Bewegungen, welche die Beine beim Eillaufe machen (der kleinere Zeitraum, wo das eine Bein steht, fällt in die Mitte des grösseren Zeitraums, wo das andere Bein schwebt) 44

Seite

§ 31. Wenn beim Gehen der Zeitraum verschwindet, wo beide Beine stehen, und beim Laufen derjenige Zeitraum, wo beide schweben, so ist zwischen Gehen und Laufen gar kein Unterschied wahrzunehmen 45
§ 32. Wird beim Laufen eine Versuchsreihe so angestellt, dass der Zeitraum, wo beide Beine schweben, immer kleiner wird, so kann sie nicht nur so weit fortgesetzt werden, bis dieser Zeitraum ganz verschwindet, sondern noch weiter, wo er dann wieder zunimmt 46
§ 33. Beim Laufen kann man die Dauer der Schritte weniger, die Länge der Schritte dagegen mehr als beim Gehen verändern 47
§ 34. Beim Laufen kommen geringere Abweichungen vom normalen Laufe, als beim Gehen vom normalen Gange vor 48

Ueber den Sprunglauf.

§ 35. Der Sprunglauf unterscheidet sich vom Eillaufe dadurch, dass er grössere Schritte, als beim Gehen möglich sind, langsam zu machen gestattet . . 50
§ 36. Beim Eillaufe stemmt man das Bein bei jedem Schritte das erste Mal, wo es in die vertikale Lage kommt, gegen den Fussboden; beim Sprunglaufe das zweite Mal, wo es in diese Lage kommt 51
§ 37. Die Beine schwingen beim Sprunglaufe blos von hinten nach vorn und nicht wieder zurück. Nachdem das Bein seine ganze Schwingung von hinten nach vorn vollendet hat, wird es auf den Boden gesetzt und zum Stemmen gegen den Boden der Augenblick abgewartet, wo der sich fortbewegende Schenkelkopf senkrecht über den aufgesetzten Fuss zu liegen kommt . 51
§ 38. Der Zeitraum, nach welchem ein und dasselbe Bein alle seine Bewegungen in gleicher Folge wiederholt, ist auch beim Sprunglaufe der doppelten Schrittdauer gleich, und es zerfällt dieser Zeitraum in drei Abschnitte, von denen der erste, wo das Bein frei in der Luft schwingt, der grösste ist (grösser als die beiden anderen zusammengenommen) und der Schwingungsdauer des Beins gleicht, — die beiden anderen, wo das Bein den Fussboden entweder blos berührt, oder gegen ihn stemmt, viel kleiner und einander fast gleich sind . 52
§ 39. Bewegungen der beiden Beine, welche während eines Schritts zugleich geschehen . 54
§ 40. Der Sprunglauf verhält sich zum Eillaufe, wie der gravitätische Schritt zum Eilschritte . 54

Zweiter Theil.

Anatomische Untersuchung der Gehwerkzeuge.

Erster Abschnitt.

Allgemeine Uebersicht von der gegenseitigen Lage und Verbindung aller Theile des Skelets.

§ 41. Zusammenhang der Haupttheile des Skelets 59
§ 42. Zusammensetzung und Beugsamkeit der Wirbelsäule (Ermittelung der wahren Gestalt der Wirbelsäule. Messung der Höhe der Wirbelkörper und Zwischenwirbelknorpel. Die Krümmung der Wirbelsäule hängt an ihrem unbeugsamen Rückentheile vorzüglich von der keilförmigen Gestalt der Wirbelkörper, am beugsamen Hals- und Lendentheile von der Gestalt der Zwischenwirbelknorpel ab) 61

Seite

§ 43. Gleichgewicht und Beweglichkeit des Kopfes auf dem Rumpfe. (Der Kopf wird bei aufrechter Stellung balancirend getragen) 68
§ 44. Beugung und Streckung des ganzen Körpers vom Kreuzbeine bis zum Kopfe. (Messung der Beugungs- und Streckungswinkel am Rumpfe) . . 70
§ 45. Beweglichkeit der Arme gegen den Rumpf 71
§ 46. Zusammensetzung der Beine . 72
§ 47. Verbindung und Beweglichkeit der Abtheilungen des Beins. (Messung der Beugungs- und Streckungswinkel an den Beinen. Das Bein kann sich durch Beugung seiner Gelenke fast auf ein Dritttheil seiner grössten Länge verkürzen) . 76
§ 48. Lage des Schwerpunktes und Vertheilung der Masse des menschlichen Körpers. (Ausmittelung des Schwerpunktes. In dem von uns untersuchten Leichname lag er im *promontorium*) 79
§ 49. Vereinigung anderer Bestimmungen des Körpers mit der des Gehens und Laufens . 83

Zweiter Abschnitt.

Ueber die Neigung des Beckens.

§ 50. Messung der Neigung des Beckens an lebenden Menschen. (Methode den Neigungswinkel des Beckens bei lebenden Menschen durch Messung zu bestimmen. Messung der Neigung des Beckens an lebenden Menschen. Die Neigung des Beckens ist bei Männern fast eben so, als Nägele sie bei Weibern gefunden, nämlich für die untere Beckenöffnung 16,51°, woraus sich 65° für die obere ergiebt) . 84
§ 51. Messung der Neigung des Beckens am Skelete. (Es kann die Neigung des Beckens sowohl gegen die beim aufrecht stehenden Menschen senkrechte durch den Anfangs- und Endpunkt der Wirbelsäule gezogene gerade Linie, als auch gegen die *incisura acetabuli*, welche beim aufrecht stehenden Menschen die unterste Stelle am Pfannenrande einnimmt, gemessen werden) 88

Dritter Abschnitt.

Ueber das Hüftgelenk.

§ 52. Die Oberflächen des Schenkelkopfes und der Pfanne sind Kugelflächen von gleichem Halbmesser . 90
§ 53. Der Schenkelkopf wird nicht vom Rande der Pfanne zurückgehalten . . 92
§ 54. Vertiefungen in der Pfanne und im Schenkelkopfe zur Aufnahme des *ligamentum teres* . 93
§ 55. Das *labrum cartilagineum* leistet die Dienste eines Ventils 93
§ 56. Die Synovialhaut verschliesst und befeuchtet das Hüftgelenk 94
§ 57. Verbindung des Beckens mit dem Schenkelbeine durch die Kapselmembran 94
§ 58. Dünne Stellen der Kapselmembran 95
§ 59. *Ligamentum superius.* (Der obere von der *spina anterior inferior* zum *trochanter major* hingehende Theil der Kapselmembran, den wir mit diesem Namen bezeichnen, ist das dickste Band des menschlichen Körpers, stärker, als das Kniescheibenband und die Achillessehne) 96
§ 60. Das Ringband des Schenkelbeins, *zona orbicularis.* (Ein Theil der Kapsel, welcher von der *spina anterior inferior* entspringt, geht nicht zum Schenkelbeine hinüber, sondern um den Schenkelkopf herum und kehrt zu seinem Ursprung zurück, und bildet daher einen Ring oder ein Halsband für den Schenkelkopf) . 96
§ 61. *Ligamentum teres.* (Dieses Band steigt senkrecht in der Pfanne herab) 97
§ 62. Verrichtung des Bandapparats des Hüftgelenks 99

Seite
§ 63. Messung des Umfangs der Bewegungen des Hüftgelenks 100
§ 64. Aequilibrirung des Beins im Hüftgelenke durch den Druck der atmosphärischen Luft . 101

Vierter Abschnitt.

Ueber das Kniegelenk.

§ 65. Beweglichkeit des Unterschenkels im Vergleich zu der des Unterarms. (Der Unterschenkel ist vermöge einer ganz eigenthümlichen Einrichtung des Kniegelenks zwar in gebogener Lage der Pronation und Supination fähig, nicht aber in der gestreckten Lage) 110
§ 66. Einrichtung des Kniegelenks in Vergleich zu der des Ellenbogengelenks. (Das Schien- und Schenkelbein bewegen sich im Kniegelenke nicht mit koncentrischen Flächen an einander, wie die Knochen des Armes im Ellenbogengelenke, sondern der Oberschenkel rollt etwas auf der *tibia* hin und zurück, wie eine Wiege) . 113
§ 67. Grenzen der Beweglichkeit des Kniegelenks. (Nach unserer Messung am Leichnam nach Entfernung der Muskeln betrug der grösste Umfang der Beugung und Streckung $\frac{11}{6}$ rechte Winkel, der der Pronation und Supination während der Beugung $\frac{3}{7}$, also noch nicht die Hälfte eines rechten Winkels) . 116
§ 68. Form der Gelenkflächen des Knies. (Die Kondylen des Oberschenkelbeins haben senkrecht auf ihre Axe durchschnitten die Gestalt einer Spirale, während die Fläche der *tibia*, auf der sie stehen, fast eben ist) 117
§ 69. Der Oberschenkel rollt und schleift zugleich bei der Beugung und Streckung auf der Oberfläche der *tibia* 119
§ 70. Die Seitenbänder des Kniegelenks wirken vorzugsweise bei gestreckter Lage, die Kreuzbänder auch bei gebogener Lage des Knies. (Die Seitenbänder hindern die Streckung über die gerade Linie hinaus) 120
§ 71. Die Seitenbänder des Kniegelenks spannen sich bei der Streckung und verhindern die Pronation und Supination, erschlaffen bei der Beugung und gestatten dann die Pronation und Supination 122
§ 72. Die Kreuzbänder sind theilweise sowohl bei der Beugung, als bei der Streckung gespannt. Sie nöthigen die Kondylen des Oberschenkels bei der Beugung und Streckung auf der Oberfläche der *tibia* zu rollen, und hindern sie bei gleichbleibender Beugung oder Streckung, sich auf derselben zu verschieben . 125
§ 73. Befestigung der Kreuzbänder auf der horizontalen Ebene der *tibia* . . 127
§ 74. Hemmung der Pronation und Supination durch die Bänder am äusseren Kondylus . 128
§ 75. Die halbmondförmigen Knorpel zwischen den Gelenkflächen des Knies verschieben sich auf der *tibia* zugleich mit den Kondylen des Oberschenkelbeins . 129
§ 76. Die halbmondförmigen Knorpel dienen zum Verschluss, zur Vertheilung des Druckes, zur Spannung des Kniegelenks und als Schutz gegen heftige Erschütterungen . 130
§ 77. Die eigenthümliche Bildung der Synovialhaut des Kniegelenks wird durch Injektion mit erstarrender Flüssigkeit sichtbar gemacht. (Die Ein- und Ausstülpungen derselben dienen theils dazu, die an einander beweglichen Knochen und benachbarte der Reibung ausgesetzte Flechsen und Bänder vor Reibung zu schützen, theils dazu, die secernirende Oberfläche des Sacks zu vergrössern) . 131
§ 78. Die Kapselmembran des Kniegelenks schützt das Kniegelenk, ohne seine Bewegungen zu beschränken 134
§ 79. Resultate der Untersuchung über das Kniegelenk 135

Fünfter Abschnitt.

Ueber die Fussgelenke.

Seite

§ 80. Das Sprungbein bildet zwei Gelenke zwischen dem Unterschenkel und dem Fusse, wie der Atlas zwischen dem Kopfe und dem Halse. (Durch das erste ist eine Streckung und Beugung des Fusses von 78°, durch das zweite eine Adduktion und Abduktion von 42°, durch beide zusammen eine Rollung von 20° möglich) 137

§ 81. Bänder der beiden Fussgelenke . 140

§ 82. Synovialhäute der Fussgelenke . 141

§ 83. Zusammensetzung des Fusses und Beweglichkeit seiner Theile. (Der Fuss bildet zwei Knochenbögen und besteht aus kurzen aber zahlreichen aneinandergelenkten Knochen, um dadurch mehr Elasticität zu erhalten) 141

§ 84. Einrichtung der Zehengelenke mit besonderer Rücksicht auf die Sesambeinchen. (Der Fuss, oder auch die Zehen mit den Sesambeinchen allein, dienen als eine feste Unterlage, gegen welche das übrige Bein mit dem Rumpf bewegt und balancirt werden kann) 143

Sechster Abschnitt.

Ueber die Muskeln der Gehwerkzeuge.

§ 85. Vergleichung des Gewichts der Muskeln, welche das Bein strecken und beugen. (Wägung der zum Gehen dienenden Muskeln. Die Streckmuskeln des Beins, von welchen die Kraft ausgeht, durch welche wir uns fortbewegen, übertreffen an Masse bei weitem die Beugemuskeln und selbst die aller übrigen Muskeln des Beins zusammen) 144

§ 86. Der Fuss wird beim Gehen nicht durch die Beuger des Fussgelenks, sondern durch die *gastrocnemii* vom Boden aufgehoben, welche das Kniegelenk beugen und zugleich das Fussgelenk strecken 148

§ 87. Ueber die Muskeln, welche die Pronation und Supination des Fusses bewirken . 149

§ 88. Ueber die Muskeln, welche die Adduktion und Abduktion des Fusses bewirken . 150

Dritter Theil.

Physiologische Untersuchung des Gehens und Laufens.

Erster Abschnitt.

Versuche und Messungen über das Gehen und Laufen.

§ 89. Zur Grundlage einer Theorie des Gehens und Laufens werden Messungen erfordert . 155

§ 90. Die Messungen müssen auf einem horizontalen vor Wind geschützten Wege angestellt, und der Weg und die Zeit gemessen werden 155

§ 91. Der Rumpf ist während des Gehens und Laufens nicht in senkrechter Lage, sondern vorwärts geneigt. Die Grösse dieser Neigung wächst mit der Geschwindigkeit, mit der man geht oder läuft. (Messungen der Neigung des Rumpfes beim Gehen und Laufen) 157

Ueber das Gehen.

§ 92. Der Rumpf wird beim Gehen auf einem horizontalen Fussboden in einer fast horizontalen Linie fortbewegt. Die Schwankungen, durch welche er sich abwechselnd dem Fussboden etwas nähert, oder über denselben

Seite

mehr erhebt, betragen etwa 32 Millimeter, oder die grösste Abweichung vom Mittel nur 16 Millimeter. (Messung der vertikalen Schwankungen bei 730 Millimeter langen Schritten) 161

§ 93. Die grösste Schrittlänge, die wir beim Gehen in Anwendung bringen, ist fast der halben Spannweite der Beine gleich 163

§ 94. Der Rumpf nimmt jederzeit beim Gehen eine etwas tiefere Stellung gegen den Boden an, als beim Stehen: er wird um so tiefer gestellt, je schneller wir gehen, und seine Entfernung vom Boden ist bei der nämlichen Gangweise und Geschwindigkeit immer dieselbe. (Messung der Senkung des Rumpfes beim Gehen) . 165

§ 95. Ueber die Zunahme der Beinlänge durch die Streckung. (Messung der Beinlänge bei verschiedener Streckung) 166

§ 96. Messung der Länge des gestreckten hinteren Beins bei verschiedenen Geschwindigkeiten des Gehens . 167

§ 97. Beim Gehen schliessen das gestreckte hintere Bein und das vordere Bein mit dem Fussboden ein rechtwinkeliges Dreieck ein 168

§ 98. Die Hebung des hinteren Fusses vom Fussboden wird durch eine Beugung des Knies bewirkt, während der Fuss und die Zehen ausgestreckt bleiben. (Messung der Hebung der Füsse beim Gehen) 169

§ 99. Im Gehen wickelt sich bei jedem Schritte die Sohlenfläche des Fusses vom Boden ab, wodurch der Schritt unabhängig von dem Winkel, den beide Beine mit einander machen, um die Länge des Fusses vergrössert wird 170

§ 100. Wenn das Bein, während es vom Rumpfe frei herabhängt, ausser Gleichgewicht gebracht und seiner Schwere überlassen wird, kehrt es nach dem Gesetze eines Pendels in die Lage des Gleichgewichts von selbst zurück, bewegt sich dann aber weiter fort und schwingt wie ein Pendel. (Messung der Dauer der Schwingung des frei pendulirenden Beins) . . 171

§ 101. Die grösste Geschwindigkeit, die man mit dem Gehen ohne Verschwendung von Muskelkraft erreichen kann, hängt von der Länge der Beine und von der Geschwindigkeit ab, mit der sie, von ihrer eigenen Schwere getrieben, schwingen. (Messung der Geschwindigkeit beim schnellsten Gehen) . 173

§ 102. Die Dauer des Schritts beim schnellsten Gehen ist gleich der halben Dauer einer Pendelschwingung des Beins. (Messungen über die Schwingungsdauer des Beins und über die kleinste Schrittdauer bei verschiedenen Personen) . 174

§ 103. Etwas geringer fällt die Schrittdauer beim schnellsten Gehen aus, wenn wir nicht mit der Ferse, sondern mit dem Ballen auftreten. (Messung der Schrittdauer beim schnellsten Gehen auf den Zehen) 175

§ 104. Beim schnellsten Gehen wird der schwebende Fuss in demselben Augenblicke senkrecht unter seinem Aufhängepunkte am Rumpfe aufgesetzt, in welchem der hintere Fuss vom Boden erhoben wird 176

§ 105. Versuche über die Schwingungen der Beine an einem Leichname angestellt 177

§ 106. Wenn man ganz natürlich und ungezwungen ein Mal langsamer, das andere Mal geschwinder geht, so macht man beim schnelleren Gehen nicht nur grössere, sondern auch in gleicher Zeit mehr Schritte; umgekehrt, je langsamer man geht, desto kleiner macht man die Schritte und zugleich auch desto weniger in gleicher Zeit; oder die Schrittlänge wächst mit abnehmender Schrittdauer und umgekehrt. (Versuche über den natürlichen Gang mit verschiedener Geschwindigkeit. Besonders bequem sind diejenigen Gangarten, in welchen die Schwingungsdauer des Beins mit der des Armes übereinstimmt) 178

§ 107. Messung der Zeit, in welcher der Körper auf einem Beine steht. (Unmittelbare Messung der Zeit, in welcher das eine Bein während eines Schritts aufsteht) . 182

Seite

§ 108. Das natürliche Verhältniss der Schrittdauer zur Schrittlänge kann willkürlich abgeändert werden; diese Abänderungen sind aber in gewisse Grenzen eingeschlossen. (Versuche über die kürzeste und längste Dauer, welche die Schritte bei vorgeschriebener Länge erhalten können) . . . 184

§ 109. Bildliche Darstellung der Versuche 187

§ 110. Versuche über das Gehen auf dem Ballen. (Versuche über den natürlichen Gang auf dem Ballen bei verschiedener Geschwindigkeit; Versuche über die kürzeste und längste Dauer, welche beim Gehen auf dem Ballen die Schritte bei vorgeschriebener Länge erhalten können) 188

Ueber den Eillauf.

§ 111. Wodurch das Laufen vom Gehen unterschieden wird 191

§ 112. Wenn die Schritte beim Eillaufe dieselbe Länge erhalten, als die beim schnellsten Gehen, so ist ihre Dauer der der letzteren gleich, oder sie ist der Dauer einer halben Pendelschwingung des Beins gleich. (Messung über den Eillauf mit der Geschwindigkeit des schnellsten Gehens) 192

§ 113. Bei schnellerem Laufen wird zwar der Schwingungsbogen oder die Elongationsweite des schwingenden Beins vergrössert, aber das Bein beschreibt immer einen gleichen Theil, nämlich die Hälfte vom ganzen Schwingungsbogen. (Messungen über das Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit) . 193

§ 114. Die Abweichungen, welche die Schrittdauer bei sehr langsamem und bei sehr schnellem Laufe zeigt, rühren daher, dass bei langsamem und schnellem Laufe jedes Bein längere Zeit schwebt, als steht 198

§ 115. Die Reihe der zusammengehörigen Schrittdauern und Schrittlängen des natürlichen Ganges, nach letzteren geordnet, fällt an ihrem Ende mit der Mitte der Reihe der zusammengehörigen Schrittdauern und Schrittlängen des Laufes, gleichfalls nach letzteren geordnet, zusammen, und dieser Koincidenzpunkt ist zugleich das Maximum der Schrittdauer beim Laufen, von dem aus die Schrittdauer sowohl für grössere, als kleinere Schrittlängen kleiner wird; und zugleich ist derselbe Punkt das Minimum der Schrittdauern beim Gehen, von dem aus die Schrittdauer für kleinere Schrittlängen grösser wird, und über den hinaus der natürliche Gang nicht möglich ist . 199

§ 116. Die Hebung des hinteren Fusses wird beim Laufen, wie beim Gehen, durch eine Beugung des Knies bewirkt, während der Fuss und die Zehen ausgestreckt bleiben. Die Hebung des Fusses beträgt beim Laufen viel mehr, als beim Gehen. (Messung der Hebung der Füsse beim Laufen) . 200

§ 117. Der Rumpf macht beim Laufen geringere vertikale Schwankungen, als beim Gehen . 201

§ 118. Das hintere Bein wird beim schnellen Laufen noch mehr, als beim schnellen Gehen gestreckt. (Messung der Streckung des hinteren Beins beim Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit) 201

§ 119. Die grösste Geschwindigkeit beim Laufen beträgt etwa $6\frac{1}{2}$ Meter in einer Sekunde, oder eine deutsche Meile in 20 Minuten. (Versuche über die grösste Geschwindigkeit des Laufens) 202

Ueber den Sprunglauf.

§ 120. Die Schrittdauer ist viel grösser, als beim Eillaufe, aber kleiner, als beim langsamen Gehen. Die Schrittlänge ist immer viel grösser, als beim schnellsten Gehen und kann selbst grösser sein, als beim schnellsten Laufen, wozu aber erfordert wird, dass die Streckmuskeln mit der

Seite

grössten Kraft, aber nur einen Augenblick lang, bei jedem Schritte wirken. (Messung der Schrittlänge und Schrittdauer beim Sprunglaufe mit verschiedener Geschwindigkeit) 203

Zweiter Abschnitt.

Begründung einer Theorie des Gehens und Laufens.

§ 121. Ideen zu einer Theorie des Gehens und Laufens. (Die Mechanik des Gehens und Laufens beruht auf dem Wechselverhältniss zwischen dem stemmenden und schwingenden Beine — die Kraft des stemmenden Beins soll den Obertheil des Körpers in seiner Entfernung vom Fussboden erhalten — der Schwingungsanfang des einen Beins soll mit der senkrechten Stemmung des anderen Beins zusammenfallen — der vom schwingenden Beine zurückgelegte Schwingungsbogen soll kleiner sein, als ein Doppelschritt, um so viel, als der Rumpf während jener Schwingung weiter rückt — die Unbestimmtheit der Schritte in Folge äusserer störender Einflüsse kann durch die Voraussetzung, dass die vertikalen Schwankungen danach modificirt werden, beseitigt werden — Zweck der Theorie — Prüfung und Anwendung derselben) 205

Theorie des Gehens.

§§ 122. 123. Kräfte, welche auf das Gehen Einfluss haben (die Streckkraft, die Schwerkraft, der Widerstand. Gleichgewicht dieser Kräfte) 210

§ 124. Lage des Körpers in einzelnen Augenblicken des Gehens (Graphische Darstellung der gleichzeitigen Bewegungen beider Beine und des Mittelpunktes des Körpers nach folgenden Regeln: 1. dass das eine Bein senkrecht steht, wenn das andere vom Boden gehoben wird, 2. dass der eine Fuss so weit vor den anderen Fuss gesetzt wird, als er dahinter gewesen war, 3. dass die Dauer eines Schritts in einen Zeitabschnitt zerfällt, wo der Körper auf einem Beine steht, und in einen Zeitabschnitt, wo er auf beiden Beinen steht) 212

§ 125. Grundlage der Theorie des Gehens. (Princip des Maasses der Anstrengung — der Richtung der Streckung — der anfänglichen Stellung) 214

§ 126. Die Summe der Quadrate der Erhebung des Mittelpunktes des Körpers über dem horizontalen Fussboden und der Schrittlänge ist dem Quadrate der Länge des gestreckten Beins gleich 215

§ 127. Auf den Rumpf wirkt stets blos die Streckkraft *eines* Beins; diese beschleunigt ihn in der Zeit, wo er auf einem Beine steht, retardirt ihn in der Zeit, wo er auf beiden Beinen steht (wenn er in dieser Zeit sich ganz horizontal fortbewegen soll) 215

§ 128. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Rumpf sich bewegt, als gleichförmig vorausgesetzt, schwingt das aufgehobene Bein wie ein Pendel, das ausser der anfänglichen schiefen Lage auch eine Geschwindigkeit in seiner Kreisbahn rückwärts erhalten hat, die, am Ende des Beins gemessen, der nach der Tangente jener Kreisbahn zerlegten Geschwindigkeit des Rumpfes gleich ist 217

§ 129. Die Geschwindigkeit des wieder auftretenden Fusses ist nahe der Summe der Geschwindigkeiten des Rumpfes und der dem Fusse ertheilten Pendelgeschwindigkeit gleich . 222

§ 130. Bestimmung der lebendigen Kraft, welche der Rumpf dem schwingenden Beine mittheilt . 223

§ 131. Bestimmung der lebendigen Kraft, welche das stemmende Bein dem Rumpfe mittheilt . 225

Seite

§ 132. Bestimmung des Verhältnisses des Theils der Schrittdauer, wo der Körper auf einem Beine steht, zur ganzen Schrittdauer (durch Anwendung des Pendelgesetzes auf die Bewegung des schwingenden Beins) 227
§ 133. Bestimmung der Höhe, in welcher der Mittelpunkt des Körpers über dem Fussboden getragen wird (aus der Unveränderlichkeit der lebendigen Kraft des Rumpfes geschlossen) 228
§ 134. Gesetze des Gehens bei horizontaler Fortbewegung des Rumpfes . . . 228
§ 135. Ueber die Nothwendigkeit und die Vortheile einer kleinen Senkung des Rumpfes am Ende jedes Schritts beim Menschen (ohne Senkung würde der Rumpf verhältnissmässig zu sehr beschleunigt werden — Bestimmung der Senkung, damit die Schrittlänge ein *Maximum* werde — Kompensation des Einflusses äusserer Kräfte durch die Senkung) . . . 229
§ 136. Gesetze des Gehens mit Rücksicht auf die für den Menschen vortheilhafteste Senkung des Rumpfes am Ende jedes Schritts (Vergleichung der Theorie mit der Erfahrung) 235
§ 137. Anwendung der Theorie des Gehens zur Bestimmung des Einflusses des Tragens von Lasten auf das Gehen (die Schrittlänge wird kleiner, die Schrittdauer grösser) . 237
§ 138. Anleitung zum Zeichnen gehender Figuren. (Vereinfachung der Gesetze zum Zwecke der Konstruktion — Tabelle für Schrittdauer, Schwingungsdauer, Schrittlänge und Höhe des Mittelpunktes des Körpers) 237
§ 139. Ueber eine besondere Art des langsamen Gehens — den gravitätischen Schritt (wenn das auftretende Bein einen grösseren Winkel, als das andere Bein mit der Vertikale macht) 239

Theorie des Eillaufs.

§ 140. Unterscheidung des Laufens vom Gehen. (Beim Laufen schwingen, beim Gehen stehen beide Beine eine Zeitlang zugleich, wodurch beim Laufen eine grössere Schrittlänge und kleinere Schrittdauer möglich wird, als beim Gehen) . 241
§ 141. Kräfte, welche auf das Laufen Einfluss haben (dieselben wie beim Gehen — Nothwendigkeit des abwechselnden Steigens und Sinkens des ganzen Körpers) . 242
§ 142. Lage des Körpers in einzelnen Augenblicken beim Eillaufe (das schwingende Bein kommt bis zur vertikalen Lage und nie weiter) 244
§ 143. Das Quadrat der Länge des gestreckten Beins ist der Summe der Quadrate des vom Mittelpunkte des Körpers in der Zeit, wo der Körper auf einem Beine steht, zurückgelegten Wegstückes und des Abstandes des Mittelpunktes des Körpers vom Boden am Ende jener Zeit gleich . . . 245
§ 144. Die Zeit, welche zwischen der Aufhebung und dem Wiederauftreten eines Beins verfliesst, ist der Summe der Schrittdauer und des Zeitabschnittes der Schrittdauer, wo der Körper ganz frei in der Luft schwebt, gleich . 245
§ 145. Bestimmung der Grösse der vertikalen Bewegungen des Körpers (aus den Fallgesetzen) . 246
§ 146. Bestimmung des Abstands des Mittelpunktes des Körpers vom Boden im Anfange jedes Schritts (die § 128 bis § 130 aufgestellten Gesetze gelten auch für den Eillauf) . 247
§ 147. Gesetze des Eillaufs, wenn im Augenblicke des Auftretens keine plötzliche Hebung des Körpers Statt findet 251
§ 148. Die Gesetze des Eillaufs fallen mit denen des Gehens zusammen, wenn beim Laufen der Zeitraum, wo der Körper auf keinem Beine aufsteht, beim Gehen der Zeitraum, wo der Körper auf beiden Beinen steht, verschwindet . 252

Seite

§ 149. Senkung des Körpers im letzten Theile der Zeit, wo er auf einem Beine steht, und plötzliche Hebung desselben im Augenblicke des Auftretens beim Menschen . 253
§ 150. Gesetze des Eillaufs mit Rücksicht auf die beim Menschen vortheilhafteste Hebung des Körpers im Augenblicke des Auftretens 256

Theorie des Sprunglaufs.

§ 151. Unterscheidung des Sprunglaufs vom Eillaufe (das schwingende Bein geht über die vertikale Lage hinaus und stemmt gegen den Boden, wenn es zum zweiten Male in die vertikale Lage kommt) 258
§ 152. Ueber die Kräfte, welche auf den Sprunglauf Einfluss haben und über die Lage des Körpers in einzelnen Augenblicken des Sprunglaufs . . . 260
§ 153. Gesetze des Sprunglaufs . 262
§ 154. Bildliche Darstellung des Eillaufs und Sprunglaufs (Vereinfachung der Gesetze zum Zwecke der Konstruktion) 264

Vierter Theil.

Historische Uebersicht der älteren Untersuchungen über das Gehen und Laufen.

Allgemeine Bemerkungen über die älteren Untersuchungen des Gehens und Laufens.

§ 155. Das Gehen und Laufen ist zwar der Gegenstand vielfacher Betrachtungen gewesen, es hat aber darüber sowohl an Versuchen gefehlt, um davon eine genaue, naturgemässe Beschreibung zu geben, als auch an Messungen, auf welche eine Theorie dieser Bewegungen sich gründen liesse 267

Darstellung der einzelnen Untersuchungen über das Gehen und Laufen.

§ 156. Gassendi . 270
§ 157. Borelli . 272
§ 158. Haller . 277
§ 159. Barthez . 279
§ 160. Magendie . 283
§ 161. Gerdy . 284
§ 162. Poisson . 289
§ 163. Nachweisung der neuesten Untersuchungen über den Sprung 291
§ 164. Schlussbemerkung . 291

Uebersicht der Tabellen, in welchen die auf das Gehen und Laufen Bezug habenden Messungen zusammengestellt sind.

Seite

Tabelle I. Messung der Wirbelkörper und Wirbelknorpel 65
„ II. Messung der Beugungs- und Streckungswinkel am Rumpfe 71
„ III. Messung der Beugungs- und Streckungswinkel an den Beinen . . 77
„ IV. Messungen über die Neigung des Beckens an lebenden Menschen 88
„ V. Messungen über die Neigung des Beckens an Skeleten 89
„ VI. Wägung der zum Gehen dienenden Muskeln 145
„ VII. Messung der Neigung des Rumpfes beim Gehen und Laufen . . . 159
„ VIII. Messung der Neigung des Rumpfes beim Gehen und Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit 160

Seite

Tabelle IX. Messung der vertikalen Schwankungen bei 730 Millimeter langen Schritten . 163
„ X. Messung der Senkung des Rumpfes 166
„ XI. Messung der Beinlänge bei verschiedener Streckung 167
„ XII. Messung der Streckung des hinteren Beins beim Gehen mit verschiedener Geschwindigkeit 168
„ XIII. Messung der Hebung der Füsse beim Gehen 170
„ XIV. Messung der Dauer von 60 Schwingungen des frei pendulirenden Beins . 172
„ XV. Messung der Geschwindigkeit beim schnellsten Gehen 173
„ XVI. Messungen über die Schwingungsdauer des Beins und über die kleinste Schrittdauer bei verschiedenen Personen 175
„ XVII. Messung der Schrittdauer beim schnellsten Gehen auf den Zehen 175
„ XVIII. Vergleichung der Schwingungsdauer des Beins am Leichname und an lebenden Menschen . 177
„ XIX. Messungen über den natürlichen Gang auf der ganzen Fusssohle mit verschiedener Geschwindigkeit 179
„ XX. Messungen über das Marschiren nach dem Takte 180
„ XXI—XXII. Messung der Zeit, wo das Bein auf dem Boden steht, bei verschiedenen Geschwindigkeiten des Gehens 183
„ XXIII. Messung der kürzesten Dauer der Schritte bei vorgeschriebener Länge . 185
„ XXIV. Messung der grössten Dauer der Schritte bei vorgeschriebener Länge . 186
„ XXV—XXVII. Messungen über das Gehen auf dem Ballen (auf den Zehen) . 188
„ XXVIII. Messungen über den Eillauf mit der Geschwindigkeit des schnellsten Gehens auf dem Ballen (auf den Zehen) 192
„ XXIX—XXXI. Messungen über das Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit . 194
„ XXXII. Messung der Hebung der Füsse beim Laufen 200
„ XXXIII. Messungen über die Streckung des hinteren Beins beim Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit 201
„ XXXIV. Messung der grössten Geschwindigkeit beim Laufen 202
„ XXXV. Messung der Schrittlänge und Schrittdauer beim Sprunglaufe mit verschiedener Geschwindigkeit 205

Erklärung der anatomischen Abbildungen zur Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge . 297

MECHANIK

DER

MENSCHLICHEN GEHWERKZEUGE.

Einleitung.

§ 1.

Zweckmässige Einrichtung des menschlichen Körpers zur Fortbewegung in Vergleichung mit den Wagen.

Wo es den Naturforschern gelungen ist, den Nutzen gewisser Theile des menschlichen oder thierischen Körpers zu erkennen, und die Weise zu ergründen, wie sie wirken, da haben sie sich auch überzeugt, dass von der bildenden Natur zur Erreichung ihrer Zwecke die geeignetsten Mittel angewendet worden sind. Durch die Betrachtung des menschlichen Auges kam Euler auf den Gedanken, es müsse möglich sein, achromatische (das Licht nicht zerstreuende) Fernröhre zusammen zu setzen, und dadurch diesen optischen Instrumenten eine Vollkommenheit zu geben, welche Newton für unmöglich und der Natur des Lichts und der brechenden Körper widersprechend geglaubt hatte. Dollond brachte diese Nachahmung des menschlichen Auges im Fernrohre wirklich zu Stande. — Es ist nicht zu bezweifeln, dass eine recht genaue Erkenntniss des menschlichen und thierischen Körpers noch zu manchen anderen für die Wissenschaft wichtigen und für die Künste und Gewerbe nützlichen Entdeckungen führen könne. In vorzüglichem Grade lässt sich dieses erwarten von einer recht genauen Kenntniss des Mechanismus, durch welchen sich der Mensch und die Thiere fortbewegen. Denn gerade diese Thätigkeit ist eine der allerwichtigsten im ganzen Körper, und keinem anderen Zwecke sind so viele Organe und überhaupt ein so grosser Theil des Körpers gewidmet. Man überzeugt sich bei genauerer Untersuchung, dass die zweckmässigsten Hülfsmittel in Anwendung gebracht sind, um eine recht kraftvolle und geschwinde Bewegung mit dem geringsten Aufwande von Muskelkraft möglich zu machen, welche auch bei verschiedener Neigung und Beschaffenheit des Bodens ausgeführt und nach Umständen abgeändert werden kann, und dass alle diese Zwecke mit den einfachsten Werkzeugen erreicht sind. Daher wird denn auch dem Menschen das Gehen sehr leicht, so dass er es sogar länger fortzusetzen im Stande ist, als das Stehen. Die Glieder seines Körpers sind für diese Thätigkeit so vortheilhaft eingerichtet,

dass er, nach Versuchen, durch keinen anderen Gebrauch derselben, z. B. durch das Umdrehen einer Kurbel, gleich viel zu leisten vermag.

Lange Zeit hatte man gar keine Maschinen, welche sich durch ihre eigene Kraft auf dem Erdboden fortzubewegen und andere Körper fortzuschaffen vermocht hätten, sondern man bediente sich hierzu ausschliesslich der Werkzeuge, welche die Natur zu diesem Behufe den Menschen und Thieren gegeben hat. Erst in der neuesten Zeit ist es dem menschlichen Erfindungsgeiste gelungen, Dampfwagen zu bauen, welche, ohne von Thieren fortgezogen zu werden, sich mit grosser Geschwindigkeit und Kraft fortbewegen. Aber auch von den Dampfwagen ist es bekannt, dass sie nur auf ebenem, festem und horizontalem, oder nahe horizontalem Wege (wie die Eisenbahnen) zu gebrauchen sind; dass beim Berganfahren dagegen die Hindernisse so sehr zunehmen, dass sie schon bei einer mässigen Neigung des Wegs von einem Dampfwagen schwer überwunden werden können. In weichem Boden wühlen sich die Räder ein, statt auf der Oberfläche hinzurollen. Die Thiere dagegen und vor allen der Mensch selbst, werden weder durch die Weichheit, noch durch die Unebenheit des Bodens, selbst bei beträchtlicher Steilheit der auf- und abwärts steigenden Wege, gänzlich am Fortkommen gehindert. Bei keiner anderen Art der Fortbewegung einer Last auf der Erdoberfläche ist die nachtheilige Wirkung der Reibung und der Erschütterung mehr als beim Gehen und Laufen vermieden: bei keiner anderen kann die Richtung, in der die Bewegung geschieht, so leicht abgeändert, bei keiner können die Werkzeuge den zu überwindenden mannichfaltigen Hindernissen so leicht angepasst werden, als bei dieser. Man darf daher mit Gewissheit erwarten, dass man, wenn man den Mechanismus des Gehens recht erkannt haben wird, daraus grossen Vortheil für die Erfindung neuer auf das Fortkommen berechneter Maschinen werde ziehen können, welche auch in unwegsamen Gegenden, wo das Fuhrwerk nicht zu gebrauchen ist, und wo sich der Mensch auf die Dienste der Kameele und anderer Thiere beschränken muss, ihren Zweck erfüllen werden. Lässt sich nachweisen, wie wir es thun zu können glauben, dass das Gehen und Laufen eine so mechanische und durch Berechnung voraus zu bestimmende Bewegung ist, dass es im Einzelnen gar keiner besonderen freien Willensäusserung bedarf, um die dabei wirksamen Werkzeuge in der nöthigen Ordnung nach einander in Bewegung zu setzen, so leuchtet die *Möglichkeit* einer z. B. durch Dampf bewegten, auf zwei, vier, sechs oder mehreren Beinen gehenden Maschine von selbst ein. Wenn man daher Stützen erfindet, welche sich wie die menschlichen Beine verkürzen, und mit grosser Kraft wieder verlängern können, was z. B. der Fall sein würde, wenn sie wie Röhren gebildet wären, aus denen durch die Kraft des Dampfs eine

Kolbenstange heraus geschoben würde, so darf man hoffen, einen solchen Zweck zu erreichen. Wir behaupten aber keineswegs, dass es schon jetzt an der Zeit sei, über die Ausführung solcher Maschinen, die sich durch ein künstliches Gehen fortbewegten, im Einzelnen nachzudenken; denn vor der Hand sind unsere Kenntnisse in dieser Hinsicht noch zu beschränkt. Aber schon die entfernte Hoffnung ist erfreulich, solche Maschinen zu erfinden und in so grossem Maassstabe auszuführen, dass weder Wüsten noch Flüsse ihre Fortbewegung hemmen.[1]) In unseren Gegenden, wo es nicht an gebahnten Wegen fehlt, und also Räder sich fast immer brauchen lassen, würden solche Maschinen für sich allein keine Anwendung finden, da es thöricht sein würde, auf die grossen Vortheile, die das Rad bei guten Wegen zum *Tragen* der Last gewährt, Verzicht zu leisten. Dennoch lässt sich von einer *Verbindung* gehender Maschinen mit Wagen ein guter Erfolg erwarten. Während unsere jetzigen Dampfwagen für sich allein zum Gebrauch auf steilen Wegen und Chausseen ohne Eisenbahnen wenig geeignet sind, könnten sie durch eine Verbindung mit einer zum Gehen dienenden Maschine diesem Zwecke angepasst werden. Es kann am Dampfwagen eine von oben und vorn nach unten und hinten gerichtete, knieförmig gestaltete Stange, die, oben am Wagen befestigt, von einem durch Dampfkraft in Bewegung gesetzten Kolben im Kniegelenk gestreckt, mit ihrem unteren Ende gegen den Boden gestemmt würde, angebracht werden, um den Wagen durch Stemmung fortzuschieben, ungefähr wie ein Mensch ihn fortschiebt. Es ist bekannt, dass die Schwierigkeit, welche die Anwendung der Dampfwagen auf Wegen ohne Eisenbahnen findet, in den allzu heftigen Erschütterungen liegt, die der Wagen bei einiger Belastung vom Erdboden aus erfährt, die so heftig sind, dass kein bekanntes Material auf die Dauer Widerstand zu leisten vermag, und dass sie den Wagen nach wenigen Fahrten zerstören. Durch einen damit verbundenen Gehmechanismus könnte der Druck der Räder auf den Boden, und damit jene heftige Erschütterung, nach Belieben vermindert werden, bald weniger, bald mehr, nach Beschaffenheit des Bodens, auf dem man fährt.

§ 2.

Die Mechanik der Gehwerkzeuge findet eine Anwendung bei der Abbildung gehender Menschen.

Durch die genaue Bestimmung dessen, was beim Gehen und Laufen geschieht, namentlich durch die Messung der Neigung nach vorn, die

[1]) Bis jetzt kannte man den Mechanismus des Gehens so wenig, dass unter den vielen, gehende oder laufende Menschen oder Thiere da stellenden Automaten kein einziger ist, bei welchem wirklich die Beine die Ursache der Bewegung sind.

der Rumpf bei dem mit verschiedener Geschwindigkeit Gehenden und Laufenden bald weniger, bald mehr annimmt, und durch die richtige Angabe der zusammen passenden Stellungen, in welche die Gliedmaassen in den verschiedenen Zeitmomenten eines Schritts gleichzeitig kommen, kann man den Künstlern zuverlässige Data an die Hand geben, die sie durch eigene Beobachtung nicht genau genug erhalten würden. Denn die Lagen der verschiedenen Theile des Körpers wechseln beim Gehen und Laufen zu schnell, als dass sie sich in einem einzelnen Augenblicke den Sinnen und dem Gedächtnisse vollständig einprägen könnten, und man bedarf zu ihrer Auffassung gewisser Instrumente und indirekter Methoden, die dem Künstler nicht zu Gebote stehen, und der Einsicht in die mechanischen Verhältnisse der Geschwindigkeit, der Beschleunigung und der Vertheilung der Bewegung auf die verschiedenen Glieder. Sind durch die Wissenschaft für das Gehen und Laufen diejenigen Lagen des Rumpfs und der einzelnen Gliedmaassen, welche bei diesen Bewegungen gleichzeitig eintreten, richtig voraus bestimmt, so wird die hiernach verfertigte Zeichnung auch auf den Laien einen Eindruck machen, der ihn bald von der Wahrheit überzeugt: denn es ist leichter, die richtige Lage des Rumpfs und der verschiedenen Glieder, wie sie der Zweck fordert, anzuerkennen, als sie aufzufinden. Es verhält sich hiermit, wie mit der Wissenschaft der Perspektive, die dem Künstler, zumal bei architektonischen Bildern, so hülfreich ist. Man sage nicht, dass das richtige Gefühl den Künstler schon hinreichend leite. Nicht einmal bei der Perspektive ist das überall der Fall. Denn wenn auch wirklich einige Künstler von seltener Fähigkeit die Wahrheit treffen, so ist es ja eben die Aufgabe der Wissenschaft, dasjenige zu lehren und durch Studium erreichbar zu machen, was ohnedem nur das Genie zu leisten vermöchte. Erhält man aber beim Gehen und Laufen gar keinen deutlichen Sinneneindruck von den Lagen des Rumpfs und der Glieder, welche gleichzeitig eintreten, weil sie zu schnell vorübergehen, so fehlt auch dem fähigsten Künstler dasjenige, wodurch er die wahren Verhältnisse, wie sie Statt finden, ohne Leitung der Wissenschaft, unmittelbar in der Natur auffassen könnte. Verschafft uns nun die Anwendung der Perspektive den Schein der Wahrheit bei bildlichen Darstellungen räumlicher Entfernungen und Stellungen der Körper, so kann auch die Anwendung der Lehre vom Gehen und Laufen den Schein der Wahrheit der abgebildeten Lebensbewegung in unsere Bilder bringen. Wie sehr drückt sich durch die verschiedenen Arten des Ganges ein verschiedener Charakter aus, sowohl durch die Geschwindigkeit, als auch durch die Leichtigkeit oder Gemessenheit und Schwerfälligkeit u. s. w. Vieles, was die Natur hier darbietet, ist von den Künstlern noch nicht hinreichend benutzt worden.

Wir hoffen, dass ausserdem die Künstler aus manchen anatomischen, in dieser Schrift enthaltenen Untersuchungen Nutzen ziehen werden. Will man den menschlichen Körper in seinen verschiedenen Stellungen richtig zeichnen lernen, so muss man die Lage der Drehungspunkte der Knochen kennen, um welche sich z. B. die verschiedenen Abtheilungen der Arme und Beine drehen. Diese Axen fallen meistens nicht in die Gelenke selbst, sondern liegen theils oberhalb, theils unterhalb in der Nähe derselben. Wir haben die Lage dieser Axen zu bestimmen gesucht und konnten vermöge dieser Bestimmung die einfachsten Veränderungen, welche die Lage der Glieder beim Gehen erleidet, in schematischen Darstellungen abbilden. Die auf diesen Abbildungen angegebenen Punkte zeigen die Lage der Axen an. — Man hat ferner bis jetzt eine unrichtige Vorstellung von der Neigung des Beckens beim aufrecht stehenden Menschen gehabt. Es ist uns keine einzige Abbildung eines Skelets bekannt, wo dem Becken die richtige Stellung gegeben wäre. Man kann behaupten, dass die Zeichner den stehenden Menschen richtiger zeichneten, als die Anatomen das stehende Skelet, und die Zeichner mussten daher diesen von den Anatomen gemachten Fehler bei der Zeichnung von Akten wieder vergessen lernen. Die Ursache davon lag darin, dass es schwer ist, dem Rumpfe nach dem Tode die Stellung zu geben, die er beim lebenden, aufrecht stehenden Menschen hat. Es bedurfte hier sehr sorgfältiger Beobachtungen und Messungen, die erst in neuester Zeit angestellt und von uns fortgesetzt worden sind. Ein alter Irrthum, vermöge dessen man den einen Theil des Schambeins *den horizontalen*, den anderen *den absteigenden* nannte, während beide Theile beim aufrecht stehenden Menschen fast in gleichem Maasse geneigt sind, pflanzte sich durch die Sprache fort, wodurch die Ueberzeugung von der Richtigkeit jener Benennungen so befestigt wurde, dass niemand an derselben zweifelte, und so ist es gekommen, dass alle Skelete mit einem zu wenig geneigten Becken abgebildet worden sind, was wieder die Folge haben musste, dass die Krümmung der Wirbelsäule gleichfalls unrichtig dargestellt wurde. Um diese letztere naturgetreu abzubilden, haben wir den Rumpf, während die Knochen durch Muskeln und Bänder noch in ihrer natürlichen Lage erhalten wurden, in Gips eingegossen und dadurch bewirkt, dass alle Knochen diese ursprüngliche Lage unveränderlich beibehalten mussten. Wir haben die so eingegossene Wirbelsäule, sammt dem Gipsblocke, in dem sie eingeschlossen war, von oben bis unten in ihrer Mitte durchsägt und in eine rechte und linke Hälfte getheilt, und die eine Hälfte so benutzt, wie man einen Holzschnitt zu benutzen pflegt, um ihn abzudrucken. Man sieht einen solchen Abdruck Taf. VIII. Es versteht sich übrigens von selbst, dass diese Krümmung nicht bei allen Menschen die nämliche ist.

§ 3.

Die Mechanik der Gehwerkzeuge findet eine Anwendung bei der Marschordnung der Truppen. Ihr Nutzen für die Physiologie.

Auch für die Militärwissenschaften lässt sich einiger Nutzen aus der Theorie des Gehens ziehen. Wir werden Tabellen geben, aus welchen man ersieht, wie die Länge der Schritte auf eine mit Sicherheit voraus zu bestimmende Weise mit der grösseren Zahl der Schritte wächst, die man in einer bestimmten Zeit macht; welche Länge der Schritte bei einem bestimmten Takte am naturgemässesten ist, in welchem von Menschen mit längeren oder kürzeren Beinen marschirt wird; wie man also den Takt vorzuschreiben habe, wenn in einer gewissen Zeit ein bestimmter Weg zurückgelegt werden soll; wie das Messen von Entfernungen durch Abschreiten viel sicherer wird, wenn man auf den Takt Rücksicht nimmt, in welchem der Abschreitende geht.

Höher aber, als der Nutzen, den die Mechanik der Gehwerkzeuge für praktische Zwecke gewährt, ist der anzuschlagen, den die Wissenschaft daraus ziehen kann. Eine mit der Erfahrung übereinstimmende, mechanische Erklärung von Thätigkeiten, die der Mensch seiner unbewusst so zweckmässig vollbringt, hat etwas sehr Ueberraschendes. Aus den Bedingungen, unter welchen das Gehen und Laufen möglich ist, lässt sich aber auch die Zweckmässigkeit mancher Einrichtungen an den Gliedern des menschlichen Körpers erkennen, die bis jetzt von den Physiologen übersehen worden waren.

§ 4.

Eintheilung der Untersuchungen in Experimentaluntersuchungen und in theoretische. Es geht diesen Untersuchungen eine allgemein verständliche und übersichtliche Darstellung der Lehre vom Gehen und Laufen voraus, und es folgt eine historische Zusammenstellung dessen, was Andere über diesen Gegenstand gelehrt haben.

Das Gehen und Laufen der Menschen sind Bewegungen, die grösstentheils von ihrem freien Willen und von der durch denselben bestimmten Thätigkeit ihrer Muskeln abhängen. Dessen ungeachtet sagt uns doch unser Bewusstsein nicht, was wir thun, um zu gehen, und welche Aufeinanderfolge von Bewegungen in unserem Körper dabei Statt findet. Wir wissen nur, dass wir schneller oder langsamer, dahin oder dorthin gehen wollen, ohne uns unserer Geschwindigkeit selbst, oder des Gebrauchs unserer Glieder im Einzelnen hierbei bewusst zu werden. Noch viel weniger ist uns bekannt, welche Nerven und Muskeln wir in

Thätigkeit setzen, wenn wir die Bewegung eines Gliedes beabsichtigen. Deshalb können wir das, was beim Gehen und Laufen geschieht, nicht dadurch kennen lernen, dass wir uns das, was in unserem Bewusstsein liegt, blos klar zu machen suchen; wir müssen uns vielmehr durch Beobachtungen und Versuche, die wir an uns und an Anderen machen, eine genaue Kenntniss vom Gehen und Laufen verschaffen. Diese eben sind in dem Theile enthalten, welcher *die Experimentaluntersuchungen* umfasst. Es giebt aber einen doppelten Weg, um zu dieser Kenntniss zu gelangen:

Erstens, indem wir die zum Gehen bestimmte Maschine des Körpers recht genau anatomisch untersuchen, und ihre Wirkungsart durch Versuche, die wir an Todten anstellen, zu errathen uns bemühen; denn schon aus der Einrichtung einer Maschine kann man oft ihren Zweck und ihre Wirkungsart erkennen. Diese Untersuchung ist eine *anatomisch-physikalische.*

Zweitens, indem wir das, was beim Gehen selber sichtbar ist, genau beobachten, und hierzu mit lebenden Menschen Versuche anstellen, bei welchen wir die Aufeinanderfolge der Bewegungen, durch welche das Gehen zu Stande kommt, erkennen; indem wir die Zeitdauer dieser verschiedenen Bewegungen mittelst einer Uhr bestimmen, und endlich den zurückgelegten Raum mit Genauigkeit messen. Dieses ist eine *physiologisch-physikalische* Untersuchung, die um so mehr mit Sorgfalt ausgeführt zu werden verdient, weil sonst nur wenige Bewegungen im lebenden Menschen so sehr von äusseren Kräften abhängen, so gleichmässig geschehen und durch den Willen und andere Lebensthätigkeiten so wenig abgeändert werden, dass sie zu physikalischen Betrachtungen und zu genauen Messungen geeignet wären.

Ein anderer Theil unserer Arbeit ist derjenige, in welchem wir eine *Theorie des Gehens* aufstellen. Auf dem beschriebenen Wege der Erfahrung werden wir nämlich auf bestimmte Ideen über den ursächlichen Zusammenhang geleitet, in welchem die von uns beobachteten Erscheinungen mit einander stehen, und wir gewinnen hierdurch das Fundament einer auf die Erfahrung gegründeten Erklärung der beim Gehen Statt findenden Bewegungen. Diese auf dem Wege der Erfahrung gewonnenen Ideen über den ursächlichen Zusammenhang sind einzeln zwar, wie die Grundideen aller Theorien, als Hypothesen zu betrachten. Indem wir dieselben aber kombiniren und aus ihnen vereint Folgerungen ziehen, die nach Zeit- und Raummaass mit der Erfahrung übereinstimmen, suchen wir jene anfangs hypothetisch aufgestellten Ideen zur Gewissheit zu bringen.

Da nun aber die Menge der an einander gereihten Specialuntersuchungen das Ganze unserer Arbeit und die Uebersicht von ihren Re-

sultaten leicht aus dem Auge rücken würde, so halten wir es für nützlich, den beiden erwähnten Theilen unserer Arbeit eine allgemein fassliche Darstellung von allem, was auf die progressiven Bewegungen des Gehens und Laufens beim Menschen einflussreich ist, vorauszuschicken, wovon die Beweise in den beiden darauf folgenden Theilen enthalten sind.

Zum Schlusse werden wir eine Uebersicht der Arbeiten Anderer folgen lassen, um sie mit der unserigen zu vergleichen.

Erster Theil.

Uebersichtliche Darstellung der Lehre vom Gehen und Laufen.

Allgemeine Betrachtungen über die Einrichtungen im menschlichen Körper, welche auf das Gehen und Laufen abzwecken.

§ 5.

Eintheilung des Körpers in den beim Gehen zu tragenden Theil und in die tragenden Stützen.

Um genauer zu betrachten, wie die Theile unseres Körpers beim Gehen und Laufen wirken, wollen wir an demselben zwei Abtheilungen unterscheiden, nämlich: *erstens,* die Abtheilung, welche fortgetragen werden soll, den Rumpf, sammt dem Kopfe und den Armen; *zweitens,* die Abtheilung, welche aus den den Körper forttragenden Stützen, den beiden Beinen, besteht. Sie sind beide auf Taf. I an einem Skelet abgebildet. Das hier vollständig abgebildete Skelet werden wir in der Folge häufig einfacher darstellen, wie es zur Auffassung einzelner Haupttheile seines Mechanismus angemessener erscheint. Wir werden nämlich diejenigen Theile des knöchernen Gerüsts, welche die Grundlage der menschlichen Gehmaschine ausmachen, im Schattenrisse darstellen; solche Theile dagegen, welche, wie die Wirbelbogen, die Rippen, Schulterblätter u. s. w., keine unmittelbar mit dem Gehmechanismus in Verbindung stehenden Wirkungen haben, weglassen. Die Wirbelsäule und die Enden vieler Knochen werden wir alsdann so zeichnen, als ob sie der Länge nach durchschnitten wären, weil man auf diese Weise eine weit richtigere Vorstellung von der Krümmung der Gelenkoberflächen, von der Lage der Gelenke und von ihren Drehungspunkten erhält.

§ 6.

Sehr bewegliche Verbindung des Rumpfs mit den Beinen.

So wie man einen auf der Hand stehenden, vorwärts geneigten Stab balanciren kann, indem man die Hand mit einer angemessenen Geschwindigkeit in der nämlichen Richtung fortbewegt, in welcher der Stab zu fallen geneigt ist, so balancirt man den Rumpf beim Gehen

auf dem kugelförmigen oberen Ende des Schenkelknochens, indem man das Bein so fortbewegt, dass es den Rumpf fortwährend unterstützt. Nur wechseln die Beine hierbei mit einander ab, so dass, während das eine den balancirten Rumpf unterstützt, das andere an dem Rumpfe hängt und von ihm mit fortgetragen wird.

Die beiden Hauptabtheilungen des Körpers, die wir unterschieden haben, der Rumpf und die Beine, sind darum mit einander sehr beweglich verbunden. Der untere knöcherne Theil des Rumpfs, das Becken, hat nämlich an jeder Seite eine spiegelglatte, mit einer schlüpfrigen Flüssigkeit benetzte Vertiefung, die einen Theil einer Hohlkugel bildet, die sogenannte Pfanne (acetabulum). In diese glatten Höhlen des Beckens greifen die eben so glatten, kugelförmigen oberen Enden des knöchernen Gerüsts der beiden Beine, die Köpfe der beiden Schenkelbeine, ein. An dem in Taf. II in halber Grösse dargestellten Becken sieht man von vorne die abgesägten Enden beider Schenkelbeine in ihren Pfannen. Der vordere Theil des Beckens und der beiden Schenkelbeine ist durch einen senkrechten, durch beide Gelenke gehenden Schnitt weggenommen worden, so, dass man sehen kann, wie die Köpfe der Schenkelbeine in ihren Pfannen liegen.[1]) Vermöge dieser Einrichtung, welche mit derjenigen Aehnlichkeit hat, die man in der Mechanik eine Nuss nennt, sind die Beine an dem Rumpfe und der Rumpf auf den Beinen so beweglich, dass es nicht leicht gelingt, dem Rumpfe eines Leichnams, bei welchem die Todtenerstarrung vorüber ist, auf den festgehaltenen Beinen eine solche senkrechte Stellung zu geben, dass er, ohne unterstützt zu werden, stehen bliebe; denn vermöge jener grossen Beweglichkeit fällt er hierbei sehr leicht zwar nicht nach hinten, aber nach vorn über.[2]) Während des Lebens wird der Rumpf durch die Nachhülfe der Muskeln,

[1]) Eine genauere Ansicht von der Gestalt des Schenkelkopfs und der Gelenkpfanne gewährt der Knochenabdruck des Hüftgelenks Taf. IX Fig. 2. Man sieht da nämlich den Schenkelkopf oder die sogenannte Kugel in ihrer Mitte von vorn nach hinten senkrecht durchsägt, und die Schnittfläche auf Papier abgedruckt. Man darf also hier nicht fürchten, dass die Krümmung beider Theile durch den Zeichner abgeändert worden wäre; denn die hier gegebene Figur ist der Abdruck des Gegenstands selbst. Man kann nämlich das durchsägte Knochenstück wie einen Holzschnitt benutzen und abdrucken lassen. Dass hierbei von kleinen Unvollkommenheiten der Umrisse, die durch das Reissen der Säge entstehen, abzusehen ist, versteht sich von selbst.

[2]) Taf. XII Fig. 1 zeigt, um wie viel der Rumpf und die Beine sich einander, durch Beugung im Hüftgelenk nach vorn, nähern, Fig. 2 um wie viel sie sich durch Streckung wieder von einander entfernen können. Man sieht daraus, dass beide einander nach hinten fast gar nicht genähert werden können, vielmehr ist der Rumpf so eingerichtet, dass er, wenn er gestreckt ist, nicht von den Muskeln gehalten zu werden braucht, damit er sich nicht weiter rückwärts neige, sondern durch Bänder in dieser Lage erhalten wird.

oder der Bündel von Fleischfasern in Balance erhalten, welche vom Rumpfe zu den Beinen herüber gespannt sind und sich unserem Willen gemäss verkürzen und dadurch anspannen können. Diese Verbindung des Rumpfes mit den Beinen ist so beschaffen, dass sie in der Richtung von vorn nach hinten die grösste Annäherung des Beins an den Rumpf oder des Rumpfes an das Bein gestattet. Eine ausführliche anatomische Untersuchung über dieses Gelenk und über die an demselben vorkommenden Bänder findet man im zweiten Theile.

§ 7.

Die Beine können am Rumpfe wie Pendel hin und her schwingen.

Steht der Körper mittelst des einen Beins auf einer erhabenen Unterlage, so kann das andere Bein vermöge der von uns erwähnten grossen Beweglichkeit wie ein Pendel hin und her schwingen. Dieses Schwingen eines Beins kann auch Statt finden, wenn man es, indem man mit dem anderen Beine auf ebenem Fussboden steht, um so viel beugt, dass es nicht aufstösst, wozu eine sehr geringe Beugung hinreicht. Man braucht bei dieser pendelartigen Bewegung die Muskeln nur sehr wenig in Thätigkeit zu setzen: es reicht hin, wenn man das Bein mittelst derselben nur von Zeit zu Zeit ein wenig accelerirt, und es übrigens der Bewegung überlässt, welche die Schwerkraft in ihm hervorbringt. Das Bein schwingt dann von selbst hin und zurück und zwar bei jedem Menschen in einer bestimmten Zeit, die nahe dieselbe bleibt, wie verschieden auch der Schwingungsbogen sei, welchen das Bein durchläuft. Die Dauer dieser Schwingungen hängt, wie die Schwingungsdauer eines Pendels, von der Länge des Beins und davon ab, wie die Masse desselben vertheilt ist: bei Menschen mit kurzen Beinen, z. B. bei Kindern, erfolgen jene Schwingungen geschwinder, bei Menschen mit langen Beinen dagegen langsamer: bei demselben Menschen ist aber die Zahl dieser Schwingungen in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Minute, immer die nämliche, wie oft und zu welchen Zeiten man auch die Versuche wiederholen mag, es mögen Jahre zwischen den ersten und letzten Versuchen verflossen sein, sobald sich nur nicht in dieser Zeit die Grösse der Beine, wie bei Kindern wegen des Wachsthums, verändert hat. Unsere Aufmerksamkeit wird für diese schwingende Bewegung nicht erfordert. Auch ändert sich die Zahl der Schwingungen in bestimmter Zeit nicht ab, wenn wir ermüden. Sogar beim Leichnam kann man diese schwingende Bewegung des Beins durch Anstossen des Beins hervorbringen, wenn die durch die Todtenerstarrung entstehende Steifheit vorüber ist, oder die starr gewordenen Muskeln durchschnitten worden sind. Zwar nimmt der Schwingungsbogen dabei

sehr schnell ab; doch ändert der Grad der Steifheit, der dann noch in den Muskeln zurück bleibt, die Schwingungsdauer nur sehr wenig ab. Aus allen diesen Umständen erhellt, dass die gleichförmige Zeitdauer dieser Schwingungen durch die Kraft der Schwere von selbst herbeigeführt wird, ohne dass unser Wille dazu nöthig ist. Dieses ist eine sehr wichtige Eigenschaft der Beine, durch welche eine so grosse Regelmässigkeit der Aufeinanderfolge der Schritte möglich wird, dass sie unsere Bewunderung erregt, weil sie bei Kindern sowohl, als bei Erwachsenen, bei Menschen ohne ein feines Gefühl für Tempo und Takt eben so gut, als bei solchen, deren Taktsinn ausgebildet ist, Statt findet.

Man erkennt hieraus den grossen Nutzen einer von der Natur getroffenen Einrichtung, vermöge deren sich das hängende Bein in der Pfanne fast ohne alle Friktion drehen kann. Denn es würden jene Pendelschwingungen der Beine durch die Friktion sehr gehindert worden sein, wenn die Kugel mit dem ganzen Gewicht des Beins auf der Pfanne und ihrer Kapsel aufgelegen hätte. Dieses ist aber, wie im folgenden Theile gezeigt werden wird, nicht der Fall; vielmehr wird der Schenkelkopf *in der luftdicht schliessenden Pfanne durch den Druck der atmosphärischen Luft zurückgehalten*, oder, *das Gewicht des Beins wird vom Drucke, den die atmosphärische Luft auf das Bein von unten nach oben ausübt, äquilibrirt.* Das Bein wird also von derselben Kraft getragen, von welcher das Quecksilber in der Barometerröhre emporgehalten wird.

§ 8.

Die Beine sind Stützen, welche sich beträchtlich verlängern und verkürzen können.

Das Wichtigste in der Einrichtung der Beine selbst ist, dass sie sich im Zickzack beugen und dadurch verkürzen, hierauf aber, indem die gebeugten Stellen wieder ausgestreckt werden, sich wieder verlängern können. Das knöcherne Gerüst des Beins ist Taf. XII Fig. 3 bei (18) in der grössten Streckung, bei (4) in der grössten Krümmung, die es bei der hier vorgestellten Gangart annimmt, dargestellt.

Man erkennt leicht, dass das Bein in den schematischen Figuren Fig. 4, 5 aus drei durch Gelenke verbundenen Hauptstücken, aus dem *Oberschenkel ab,* aus dem *Unterschenkel bc* und aus dem *Fusse cd* besteht, von welchen das letztere selbst wieder aus einer *hinteren*, in seinen Unterabtheilungen fast unbeweglichen Abtheilung *ce,* und aus einer *vorderen,* beweglichen Abtheilung, den *Zehen,* besteht. Jene hintere Abtheilung *ce* des Fusses hat die Gestalt eines aus mehreren, fast unbeweglichen Stücken bestehenden Knochenbogens, der den Fussboden beim Stehen nur mit seinem vordersten und hintersten Ende berührt,

hinten nämlich bei *c* mit der Ferse oder dem sogenannten Hacken, und vorn bei *e* mit den Enden der Mittelfussknochen oder dem sogenannten Ballen (dasselbe kann man auch an dem mehr ausgeführten Skelete Taf. I sehen).

Zur Verkürzung und Verlängerung des Beins dienen vorzugsweise *zwei* Gelenke, nämlich *erstens* das Gelenk *b*, welches der Oberschenkel mit dem Unterschenkel im Knie bildet. Hier ist die konvexe Seite nach vorn, die konkave Seite nach hinten gekehrt, und die in einander eingelenkten Abtheilungen des Beins können in der Regel nur in eine gerade Linie gebracht werden, nicht in eine solche Lage, dass ein vorn einspringender Winkel entstände. Das *zweite* Gelenk *c* ist dasjenige, welches der Unterschenkel mit dem Fusse macht. Bei ihm ist die konkave Seite nach vorn, die konvexe nach hinten gekehrt, seine Lage folglich der des ersteren entgegengesetzt. Dieses Gelenk unterscheidet sich von dem vorigen wesentlich noch dadurch, dass die beiden verbundenen Theile, der Unterschenkel und der Fuss, nicht einmal in eine gerade Linie gebracht werden können, in ihrer normalen oder natürlichen Lage aber nur einen rechten Winkel mit einander bilden. Zu diesen zwei Gelenken, von denen die Verlängerung und Verkürzung des Beins beim Gehen vorzugsweise abhängt, kommt noch das *dritte* Gelenk *e*, welches von zwei Abtheilungen des Fusses gebildet wird, hinzu, nämlich das Gelenk, welches die Zehen mit dem übrigen Fusse machen. Beim Gehen und Laufen bildet die grosse Zehe mit dem übrigen Fusse bald eine gerade Linie, bald einen nach oben konkaven, nach unten konvexen Bogen. Wenn sich das im Knie und Fussgelenk gestreckte Bein eines also auf dem Ballen[1]) stehenden Menschen beugt und dadurch verkürzt, so entsteht im Knie bei *b* ein Winkel, der nach und nach immer spitzer wird, und ebenso nimmt der Winkel bei *c*, zwischen dem Unterschenkel und dem Fusse, ab. Das Entgegengesetzte geschieht, wie leicht zu begreifen ist, wenn sich das gebogene Bein wieder streckt. Die grösste Verlängerung eines auf das äusserste verkürzt gewesenen Beins erkennt man aus Fig. 4, 5, welche diese beiden extremen Lagen naturgetreu darstellen, woraus man sieht, dass sie etwa $\frac{9}{5}$ seiner Länge beträgt, d. i. dass die Länge des gestreckten Beins zu der des verkürzten sich wie 14 : 5 verhält. Eine so grosse Aenderung der Länge des Beins kommt aber beim Gehen und Laufen wirklich nie vor, und kann auch nicht vorkommen, wenigstens nicht in der Zeit, wo das Bein auf dem Boden aufsteht. Wir werden im dritten Theile näher erörtern und darthun, dass das auf dem Boden stehende Bein beim Gehen in dem-

[1]) Man sagt gewöhnlich „auf den Zehen stehen" statt „auf dem Ballen stehen"

jenigen Augenblicke am meisten verkürzt ist, wo es senkrecht[1]) steht, wo dann der den hinteren Theil des Fusses ausmachende Knochenbogen mit beiden Enden den Boden berührt und der Mittelpunkt des Schenkelkopfs senkrecht über der Ferse sich befindet. Bei der in Fig. 4 dargestellten, möglichst verkürzten Lage des Beins findet dieses aber nicht Statt, sondern eine durch den Mittelpunkt des Schenkelkopfs gelegte Vertikallinie geht, wenn die Ferse den Boden berührt, hinter der Ferse weg, so, dass also das Bein eine *geneigte* Lage von unten und vorn nach oben und hinten hat. Soll es zur senkrechten Lage nun gelangen, so muss es etwas und zwar nicht unbeträchtlich gestreckt werden, wie bei Fig. 6 oder Fig. 3 (4) dargestellt ist. Erst dann hat das Bein eine vertikale Lage angenommen und hat in dieser Lage die grösste Verkürzung erlitten, die beim Gehen vorkommen kann. Alsdann beträgt die Verlängerung, die es durch Streckung wieder erhalten kann, etwa nur $\frac{2}{9}$ seiner Länge, d. i. die Länge des gestreckten Beins (vom Schenkelkopf bis zur Ferse) verhält sich zu der des verkürzten Beins wie 11 zu 9. — Beim Gehen auf dem Ballen und beim Laufen berührt nun zwar bei der vertikalen Lage des Beins die Ferse den Fussboden nicht, befindet sich aber doch dicht darüber; der Mittelpunkt des Schenkelkopfs muss aber alsdann, damit das Bein wirklich die vertikale Lage habe, senkrecht über dem Ballen zu stehen kommen, folglich noch weiter nach vorn gerückt werden. Beide Umstände zusammen machen, dass der Verkürzung des Beins beim Gehen auf der Ferse und beim Gehen auf dem Ballen fast gleiche Grenzen gesetzt sind.

Wenn das Bein, so wie es Fig. 3 (5) bis (17) dargestellt worden ist, allmählig gestreckt wird, kann sich die Kugel des Schenkelbeins in einer Horizontallinie hinbewegen, und der Rumpf also von ihr, ohne der Erde näher zu kommen, über dem Fussboden hingetragen werden.

§ 9.

Das Bein trägt, wenn es beim Gehen den Rumpf in schräger Richtung unterstützt, nicht blos einen Theil seiner Last, wie eine feste Stütze, sondern seine ganze Last durch die Kraft, durch die es sich verlängert.

Eine feste unbeugsame Stütze verhindert einen senkrecht auf ihr ruhenden Körper, Fig. 7, vermöge ihrer Steifigkeit am Herabsinken. Wird aber eine solche Stütze nicht senkrecht, sondern schief, wie in Fig. 8 untergesetzt, so trägt sie den Körper nur theilweise, oder hindert ihn, senkrecht herabzufallen, gestattet ihm aber, in einer Kreislinie nach

[1]) Unter senkrechter Lage des Beins verstehen wir diejenige, bei welcher die durch den Mittelpunkt des Schenkelkopfs gelegte Vertikallinie den Punkt trifft, in welchem der Fuss sich gegen den Boden stemmt.

der Seite, nach welcher sie geneigt ist, herabzufallen. Anders verhält es sich beim Beine. Denn das Bein unterstützt nicht nur den Rumpf, so lange es senkrecht unter ihm untergestemmt ist, wie in Fig. 3 (4), sondern es fährt auch noch einige Zeit lang fort, ihn ganz zu tragen und sein Herabsinken gänzlich zu verhindern, während es eine schiefe Lage einnimmt, weil es sich zu gleicher Zeit verlängert, z. B. während es aus der Lage Fig. 3 (5) in die Lage (17) übergeht: denn der oberste Punkt des Beins bleibt trotz der schief gewordenen Richtung des Beins in (17) eben so hoch über dem Erdboden als in (5), weil das Bein sich allmählig im Knie- und Fussgelenk streckt (wobei die Ferse vom Boden aufgehoben wird), während es eine immer mehr geneigte Lage annimmt. Jemehr diese Stütze des Rumpfs bei senkrechter Lage zusammengebogen wird, desto mehr verlängert sie sich nachher durch Ausstreckung, und desto länger kann sie den Körper verhindern, herabzusinken.

§ 10.

Die Beine tragen den Rumpf beim Gehen nicht allein durch die Steifheit ihrer Knochen, sondern zum Theil auch durch Muskelkraft.

Ein Wagen wird nicht immer von denselben Stützen getragen, sondern von sehr verschiedenen, die als Speichen zum Rade vereinigt sind, und die sich stetig in ihrem Dienste ablösen, indem immer andere zur vertikalen Lage, und also zur Wirksamkeit gelangen. Durch die Festigkeit dieser Stützen wird die Last des Wagens ganz und gar getragen, so lange der Weg horizontal ist. Die disponible bewegende Kraft braucht dann zum Tragen gar nicht mitzuwirken, sondern kann ausschliesslich zur Beschleunigung des Wagens in horizontaler Richtung verwendet werden. Ist freilich der Weg geneigt, so muss auch bei dem Wagen ein Theil der disponiblen Kraft zum Tragen eines Theils von seiner Last verwendet werden. Die Beine aber sind so eingerichtet, dass sie auch dann, wenn man auf horizontalem Wege geht, die Last des Körpers zum Theil durch Muskelkraft, welche die Verlängerung des unterstützenden Beins hervorbringt, halten müssen. Das Bein besteht zwar aus mehreren festen Stücken, die in vertikaler Lage so über einander gestellt werden können, dass sie blos durch ihre Steifigkeit sich und den Rumpf tragen. Diese Theile sind aber so beweglich mit einander verbunden, dass der geringste Anstoss sie aus dieser Lage zu bringen vermag; daher denn auch die Muskeln immer bereit und gespannt sein müssen, sie in jene Lage zurück zu führen. Beim Gehen und Laufen tritt aber dieser Fall, dass die Knochen genau in vertikaler Lage über einander ständen, selbst niemals ein, sondern wenn dabei das stützende Bein in die vertikale Lage kommt, so bilden seine Theile

eine gebrochene Linie, die an sich im Ganzen keine Steifigkeit besitzt, sondern dieselbe durch angemessene Spannung der Streckmuskeln erst erhält. Während der Mensch seine Transportmittel nur für gebahnte Wege berechnet, kann er seine disponible Kraft sparsamer verwenden: die bildende Natur hat für ihre Bildungen einen weiteren Kreis der Anwendung bestimmt, und darum weniger die Kraftanstrengung sparen können, weil durch einfach geformte Organe ein so vielfacher Nutzen erreicht werden sollte.

§ 11.

Ueber die Fleischbündel (Muskeln), welche das bewegliche Knochengerüst des Beins beugen und strecken.

Von einem Knochen zum anderen gehen über die Gelenke Muskeln, von welchen diejenigen, welche über die konvexe Seite der Gelenke hinlaufen, die Ausstreckung oder Verlängerung des Beins hervorbringen, sobald sie sich unserem Willen gemäss verkürzen. Jeder Muskel besteht aus unzähligen meist parallelen Fasern, von welchen jede als eine besondere Maschine betrachtet werden muss, die fähig ist, Bewegungen hervorzubringen. Jede Faser hat nämlich das Vermögen, sich durch einen noch nicht gehörig erkannten Lebensprocess zu verkürzen. Diese Verkürzung erfolgt dadurch, dass eine Faser, die zuvor gerade war, sich mit grosser Gewalt schlangenförmig oder im Zickzack krümmt. Dabei wird ein Bündel von Muskelfasern, während es sich verkürzt, zugleich dicker. Die Dichtigkeit der Fasern vermehrt sich hierbei nur sehr wenig. Wir haben einige von jenen Streckmuskeln, Fig. 9, durch stetige Linien angedeutet; die Muskeln dagegen, welche auf der Konkavseite liegen, und durch ihre Zusammenziehung die Beugung des Beins bewirken, haben wir durch punktirte Linien angedeutet, und haben nur diejenigen Muskeln berücksichtigt, welche über ein einziges von den Gelenken des Beins weggehen. Die sich verkürzenden Muskeln wirken hierbei durch ihre Spannung oder durch ihre lebendige, elastische Kraft nach den nämlichen Gesetzen, wie eine gespannte elastische Schnur. Denkt man sich daher das Bein vom übrigen Körper getrennt und frei schwebend, so wird die Verkürzung der Muskelbündel zwar eine Aenderung der relativen Lage der Theile bewirken (die Ansatzpunkte jedes Muskels an beiden Gliederabtheilungen werden beide mit gleicher Kraft nach der Richtung der Muskelfasern gezogen), aber keine Aenderung der absoluten Lage des ganzen Beins, d. i. der Lage seines Schwerpunkts. Eben so wenig kann die absolute Lage des ganzen Körpers, d. i. die Lage seines Schwerpunkts, wenn er frei schwebt, durch Muskelkraft verrückt werden. Ist dagegen nicht der ganze Körper frei, sondern

wird irgend eines seiner Glieder fixirt, steht z. B. der Fuss auf dem Boden auf und wird darauf durch die Last des ganzen Körpers festgedrückt, so wird, wenn sich die Muskeln des Beins verkürzen, der an ihrem unteren Ende wirkende Theil ihrer Spannkraft, der das Bein nach oben ziehen würde, durch die Schwere des Körpers und durch die Friktion am Boden aufgehoben. Verkürzen sich daher *erstens* die Muskeln an der Beugeseite *a des Knies,* so kann nur der Oberschenkel bewegt und dem Unterschenkel genähert werden, wodurch der Schwerpunkt des ganzen Körpers verrückt wird. Werden die Muskeln auf der konvexen Seite *β* des Knies verkürzt, so drücken sie auf das Knie selbst und suchen es gerade zu beugen, wobei der Schenkelkopf und die Ferse sich von einander zu entfernen suchen. Kann nun die Ferse nach unten nicht ausweichen, wegen des Bodens, so bewegt sich der Schenkelkopf allein nach oben und hebt den Rumpf in die Höhe. Ist die dadurch dem Rumpf ertheilte Bewegung so geschwind, dass sie von der Schwerkraft des Körpers nicht gleich wieder aufgehoben werden kann, wie beim Springen, wo sämmtliche über das Bein vertheilte Streckmuskeln zu einer plötzlichen Verlängerung des Beins vereinigt wirken und das Bein sehr geschwind aus der Lage Fig. 6 in die Lage Fig. 5 bringen, so bewegt sich der Körper mit der erhaltenen Geschwindigkeit vom Boden weiter fort, und steigt so lange aufwärts, bis die fortwirkende Schwerkraft diese Geschwindigkeit ganz aufgehoben hat. Wenn die über die konvexe Seite des Knies hinlaufenden Streckmuskeln verkürzt werden, und dabei in ihrer Mitte bei *b* auf das Knie (d. i. auf die einander zugekehrten Enden des Ober- und Unterschenkels) drücken, und es rückwärts zu weichen nöthigen, so würde eine starke Reibung der Muskeln am Knie entstehen. Darum hat die Natur statt der weichen und fein organisirten Fleischfasern hier Sehnenfasern gebildet, die sehr fest und unempfindlich sind, und hat noch diese Sehnen über eine knöcherne Unterlage, die Kniescheibe *b* (patella) hinweggeführt, welche auf den Enden beider Knochen aufliegt und mit einer sehr glatten Oberfläche darauf hin und her gleitet.[1]) — Auf ähnliche Weise, wie im Kniegelenk, verhalten sich *zweitens* die Streck- und Beugemuskeln am *Fussgelenke.* Von der vorderen Seite des Unterschenkels sowohl, wie von seiner hinteren Seite, laufen Fleischbündel, jene zur vorderen oder oberen, diese zur hinteren oder unteren Fläche des Fusses, die an sich durch ihre Verkürzung blos den Winkel des Fussgelenks abzuändern (jene zu verkleinern, diese zu vergrössern) suchen. Beide Abtheilungen

[1]) Die von uns betrachteten, blos das Knie überspannenden Beugemuskeln sind der kurze Kopf des zweiköpfigen Schenkelmuskels (biceps femoris) und der Kniekehlenmuskel (popliteus). Die das Knie allein überspannenden Streckmuskeln sind die beiden grossen Schenkelmuskeln (vasti) und der Cruralis.

bewegen sich dadurch gegen einander oder von einander, ohne Verrückung des Schwerpunkts. Steht aber der eine Theil, z. B. der Fuss, fest auf dem Boden auf, so bewegt sich in Folge jener Verkürzung nur der andere Theil, der Unterschenkel, und mit ihm der ganze übrige Körper. — *Endlich* gehen Muskelbündel von dem hinteren Theile des Fusses zum vorderen, den Zehen, über die beide Theile verbindenden Gelenke sowohl auf ihrer oberen als unteren Fläche, die an sich nur den Winkel, den beide Theile mit einander bilden, verkleinern oder vergrössern, wenn aber die Zehen fest auf dem Boden aufliegen, und der hintere Theil des Fusses vom Boden sich erhebt oder wieder niedersinkt, den Schwerpunkt des ganzen Körpers so verrücken, dass er bei dieser Hebung und Senkung stets senkrecht über den Zehen bleibt.

Wir übergehen hier diejenigen Muskeln, welche über zwei Gelenke hinweggehen, und für das eine Gelenk Streckmuskeln, für das andere Beugemuskeln sind, da ihre Funktionen minder einfach sind und im zweiten Theile näher erörtert werden.

Ueber das Gehen.

Beschreibung der Bewegungen, welche ein Bein während zweier auf einander folgender Schritte macht.

§ 12.

Jedes Bein steht beim Gehen abwechselnd auf dem Boden und wird abwechselnd vom Rumpfe, an dem es hängt, getragen.

Es ist bekannt, dass jedes der beiden Beine beim Gehen abwechselnd auf dem Boden steht, wo es als Stütze dienen und den Körper fortschieben kann, abwechselnd aber nicht aufsteht. Während des letzteren Zeitraums, wo es nicht aufsteht, hängt es am Rumpfe und wird von demselben fortgetragen, wobei seine zum Rumpfe hinaufgehenden Muskeln erschlaffen. Dieser Zeitraum nimmt seinen Anfang, indem das Bein hinten den Boden verlässt, und endigt, indem dasselbe Bein, um den Körper zu stützen, vorn aufgesetzt wird. Der ganze Zeitraum, wo das Bein beide auf einander folgende Zustände durchläuft, um sie darauf von Neuem zu durchlaufen, ist der Zeitraum zweier auf einander folgender Schritte. Man kann also den Zeitraum von zwei Schritten in jene zwei Abschnitte theilen. Diese zwei Abschnitte sind aber beim Gehen einander nicht gleich, sondern, wenn beide Beine gleichmässig gebraucht werden, so ist der erste Abschnitt, in welchem das Bein aufsteht, länger

als der zweite Abschnitt, in welchem es am Rumpfe hängt, und der Unterschied ist desto grösser, je langsamer man geht. Je geschwinder man geht, desto mehr nähern sich beide Abschnitte der Gleichheit. Niemals aber kann beim Gehen der Zeitraum, wo das Bein aufsteht, kürzer werden als der andere, wo es vom Rumpfe getragen wird. Hierin liegt, wie wir in der Folge in der Lehre vom Laufen sehen werden, eine wesentliche Verschiedenheit des Gehens und des Laufens; denn beim Laufen kann der Zeitraum, wo das Bein aufsteht, niemals so lang werden, als der, wo es vom Rumpfe getragen wird. — Um die beiden Zeitabschnitte besser zu übersehen und die Stellungen zu bemerken, welche in ihnen ein und dasselbe Bein während zweier auf einander folgender Schritte annimmt, ist Fig. 3 das vereinfachte Skelet des rechten Beins in 28 auf einander folgenden Lagen abgebildet worden, und zwar so, dass sowohl das Bein als der Weg, den es zurückgelegt, 10 Mal verkleinert gezeichnet sind. Die erste Gruppe Fig. 3, (1) bis (18), stellt den Zeitraum dar, in welchem das rechte Bein aufsteht, (19) bis (28) zeigt den kürzeren Zeitraum, in welchem das rechte Bein am Rumpfe hängt und von ihm fortgetragen wird. Beide Gruppen zusammen lassen erkennen, wie weit der Schenkelkopf und mit ihm der ganze durch eine Linie angedeutete Rumpf in der Zeit zweier Schritte fortrücken. Man sieht in diesen beiden Gruppen von Beinen, wie sich das Bein im ersteren Abschnitte sammt dem Rumpfe um sein unteres Ende (um den Ballen des Fusses), wie es sich dagegen im letzteren Abschnitte um sein oberes Ende (den Schenkelkopf) und den Rumpf dreht, und wie dadurch in jenem der Rumpf mit dem Schenkelkopfe dem Fusse voraneile, in letzterem dagegen der Fuss wieder den Rumpf sammt dem Schenkelkopfe einhole.

§ 13.

Jedes Bein wirkt beim Gehen theils als eine tragende Stütze, theils als ein fortschiebendes Stemmwerkzeug.

Bekanntlich kann man einen Kahn vermittelst einer auf den Grund des Wassers, worauf er schwimmt, schief aufgesetzten Stange, welche man vom Kahne aus gegen den Grund stemmt, fortschieben. Dieses Stemmen beruht darauf, dass man die Linie, welche die schiefe Stange nebst dem Körper des sie regierenden Menschen zwischen dem Kahne und dem Grunde des Wassers bildet, zu verlängern sucht. Da der Grund, wenn er fest ist, nicht ausweichen kann, so wird der auf dem Wasser bewegliche Kahn auszuweichen genöthigt. Die nämliche Verrichtung, wie jene Stange, haben auch beim Gehen die Beine; aber es kommt bei ihnen noch eine andere Verrichtung hinzu. Der Kahn wird vom Wasser getragen, und die Stange nebst unserem Arme, der sie zu

verlängern sucht, brauchen daher nicht das Sinken des Kahns zu verhindern. Der gehende Körper dagegen wird von den Beinen, durch die er fortgeschoben wird, zugleich getragen. Indessen dient ein Bein, während es zwischen Rumpf und Boden ausgestreckt wird, nicht in allen Momenten eines Schritts in gleichem Grade zu beiden Verrichtungen. So lange der Theil der Fusssohle, auf den das Bein sich stützt, wie in Fig. 10, (4) bis (6), nur senkrecht unter oder sogar *vor* dem Schenkelkopfe liegt, kann das Bein den Rumpf nicht vorwärts schieben: vielmehr würde das Bein, wenn es im letzteren Falle gestreckt würde, den Rumpf rückwärts schieben oder ihn in seiner Bewegung nach vorn anhalten, was man auch benutzt, wenn man stehen bleiben will. In dem Augenblicke, wo jener Theil der Fusssohle *senkrecht unter* dem Schenkelkopfe liegt, kann das Bein den Rumpf blos tragen, aber noch nicht vorwärts schieben. Erst wenn der Rumpf noch weiter vorwärts rückt, und nun der Theil der Fusssohle, auf den das Bein sich stützt, wie in Fig. 10, (12) bis (14), *hinter* die durch den Schenkelkopf gehende Vertikallinie zu liegen kommt, *trägt* nicht blos das Bein den Rumpf, sondern schiebt ihn zugleich *vorwärts*, indem es sich zwischen Rumpf und Boden stemmt, und zwar kann es desto mehr schieben, je weiter hinten jener Theil der Fusssohle liegt.

§ 14.

Das Bein ändert zweimal seine Gestalt, während es auf dem Boden aufsteht.

Damit das Bein, so lange der Theil seines Fusses, mit dem es sich stützt, vor der Vertikalebene liegt, die man sich durch den Schenkelkopf gezogen denken kann, der Vorwärtsbewegung des Körpers nicht hinderlich werde, beugt es sich, und fängt erst dann an sich zu strecken, wenn der Rumpf so weit vorgerückt ist, dass jener Theil des Fusses hinter der Vertikalen des Schenkelkopfs liegt. Das Bein ändert also seine Gestalt, während es auf dem Boden aufsteht, zweimal. Es wird nämlich anfangs, nachdem es aufgesetzt worden ist, etwas gebogen und dadurch ein wenig verkürzt, wie man es am linken Beine, Fig. 10, (4) bis (7), bemerken kann; darauf aber wird es ausgestreckt und dadurch sehr verlängert, wie man es am linken Beine, Fig. 10, (8) bis (14) und (1) bis (3), sieht. Das Bein dreht sich nämlich um seinen *unteren* Endpunkt, sammt dem auf seinem oberen Ende balancirten Rumpfe, von hinten nach vorn und verkürzt sich etwas beim Anfang dieser Drehung, fängt aber bald an, sich wieder zu verlängern bis zum Ende seiner Drehung. In Fig. 11 sind die in voriger Figur dargestellten Gruppen zusammen gerückt worden, und man kann darin sehen, um

wie viel der Gehende während eines einfachen Schritts sich fortbewegt. Um indessen die einzelnen Figuren besser unterscheiden zu können, sind (5), (6), (7) weggelassen worden, die man am leichtesten ergänzen kann, weil in ihnen die Fussspitzen die Lage wie in (4) beibehalten.

§ 15.

Die Verlängerung des Beins beim Stemmen geschieht zuerst im Kniegelenke und hierauf im Fussgelenke.

Betrachtet man in Fig. 3 das Bein von dem Augenblicke an, wo es sich zu strecken beginnt, d. h. von (5) an, so bemerkt man, dass der ganze Fuss eine Zeit lang auf dem Boden aufruht, während sich der Oberschenkel im Kniegelenke so dreht, dass der Winkel der Kniekehle immer stumpfer wird. Anfangs verlängert sich also das Bein durch eine Streckung des Kniegelenks. Später erhebt sich allmählig der Fuss hinten vom Boden, indem er sich um den Ballen und die Zehen dreht, und dabei wird der Winkel zwischen dem Fusse und Unterschenkel grösser, wodurch abermals eine beträchtliche Verlängerung des Beins hervorgebracht wird, die also in der Streckung des Fussgelenks ihre Ursache hat.

§ 16.

Vor der Verlängerung des Beins beim Stemmen wickelt sich der Fuss mit einem Theile seiner Sohle oder mit der ganzen Fusssohle auf ähnliche Weise am Boden ab, wie ein auf dem Boden fortrollendes Rad.

Durch die beschriebene Verkürzung und Verlängerung vermag ein einziges Bein (indem es den Rumpf ein Stück Weges fortträgt, ohne ihn sinken zu lassen) einen grossen Theil eines Rads zu ersetzen, das einen Wagen immer gleichhoch fort trägt. Ausser dieser Wirksamkeit des ganzen Beins ist die Wirksamkeit des Fusses noch besonders zu erwähnen, der für sich allein wieder die Dienste eines kleinen Radsegments leistet, während der Unterschenkel und der Oberschenkel zusammen genommen wie die dazu gehörende Speiche sich verhalten. Denn so wie bei einem auf dem Boden fortrollenden Rade stets andere und andere Punkte seines Rings mit stets neuen Punkten des Bodens in Berührung kommen, so, dass es fortläuft, ohne dass eine Verschiebung oder ein Schleifen desselben am Boden Statt zu finden braucht, eben so findet dieses mit der Sohle des Fusses beim Gehen Statt. Auf dieselbe Weise, wie man von jenem Rade sagt, „es wickele sich dasselbe vom Boden ab“, kann man daher auch vom Fusse sagen, „seine untere Fläche wickele sich beim Gehen vom Boden ab“. Der abgewickelte Theil der

Fusssohle erhebt sich aber nicht sogleich, wie der abgewickelte Theil des Rads, vom Boden, sondern hört blos auf, sich gegen den Boden zu stemmen. Die Abwickelung der Fusssohle besteht daher blos in einer successiven Versetzung der Stelle des Stemmens gegen den Boden von der Ferse zur Spitze. Beim Rade hat bekanntlich die Abwickelung den Nutzen, dass die Reibung vermieden wird, welche bei einer Verschiebung durch Schleifen entstehen würde. Ausser diesem Nutzen gewährt die Abwickelung der Fusssohle vom Boden beim Gehen noch den Vortheil, dass die Schritte um ein Beträchtliches vergrössert werden. Die Länge eines einfachen Schritts nennt man den Theil des Wegs von einem Fussstapfen zum nächst folgenden, oder den nach der Richtung des Wegs geschätzten Zwischenraum zwischen den beiden Punkten, in welchen die beiden Beine nach einander den Fussboden verlassen haben. Da der vordere Fuss mit der Ferse auf den Boden aufgesetzt wird, mit den Zehen aber den Boden zuletzt verlässt, nachdem er in der Zwischenzeit seiner ganzen Länge nach sich am Boden abgewickelt hat, so begreift man leicht, dass eben durch diese Abwickelung die Länge des Schritts vergrössert werde und zwar um die ganze Länge des Fusses. Die Abwickelung der Sohle dient uns daher als Mittel, grössere Schritte, folglich bei gleicher Geschwindigkeit des Gehens in gleicher Zeit weniger Schritte zu machen, was zur Bequemlichkeit des Gehens viel beiträgt. Wir würden dieses Mittel entbehren, wenn unsere Beine wie Stelzen gestaltet wären, die beim Aufsetzen und Aufheben den Boden immer mit derselben Spitze in demselben Punkte berührten, und keine Fläche zur Abwickelung darböten. — Nicht aber bei allen Gangarten wickelt sich die ganze Fusssohle am Boden ab. Wer auf den Zehen geht, lässt die Ferse, oder den hinteren Theil der Fusssohle, gar nicht mit dem Boden in Berührung kommen, sondern setzt das vordere Bein mit dem Ballen auf den Boden auf. Jener hintere Theil der Fusssohle wickelt sich daher gar nicht vom Boden ab, sondern blos der vordere Theil, vom Ballen an gerechnet bis zur Zehenspitze.

§ 17.

Aufeinanderfolge der Bewegungen des Beins während es am Rumpfe hängt und, durch seine Schwere getrieben, von hinten nach vorn schwingt.

Der zweite Abschnitt der Bewegungen, welche ein Bein während des Zeitraums zweier Schritte ausführt, ist der, wo es am Rumpfe hängt und sammt diesem vom anderen Beine fortgetragen wird. Es theilt während dieses Zeitabschnitts die Bewegungen des Rumpfs und hat ausserdem noch eine besondere Bewegung, indem es sich um sein oberes Ende dreht, und, durch seine eigene Schwere getrieben, wie ein

Pendel, von hinten nach vorn schwingt. Fig. 3, (19) bis (28), stellt diesen ganzen Zeitabschnitt dar. Die Entfernung des Schenkelkopfs (19) vom Schenkelkopfe (28) zeigt, wie viel die Bewegung beträgt, die das Bein mit dem Rumpfe theilt, indem es an ihm hängt und von ihm mit fortgetragen wird. Die Entfernung des Fusses (19) und des Fusses (28) zeigt, wenn man jenes Fortrücken des Schenkelkopfs davon abzieht, um wie viel der Fuss durch die erwähnte schwingende Bewegung des Beins fortrückt.

Das Bein behält, während des Zeitabschnitts, wo es, am Rumpfe hängend, wie ein Pendel nach vorn schwingt, nicht vollkommen seine Gestalt. Es würde, wenn es in dem gestreckten Zustande bliebe, in welchem es sich im Augenblicke der Aufhebung vom Boden befindet, auf dem Fussboden aufstossen und nicht frei unter dem Rumpfe hinweg schwingen können: es wird daher im Knie gebogen und dadurch verkürzt. Wir haben die Grösse, um welche das Bein, nachdem es den Fussboden verlassen hat, über denselben in die Höhe gehoben wird, mittelst eines Fernrohrs aus der Entfernung beobachtet und gemessen, während der Beobachtete in der Richtung des Fernrohrs fortging. Die Hebung betrug nahe $^1/_9$ von der Länge des Beins, und war beim Langsamgehen und Geschwindgehen wenig verschieden. Hierdurch kommt nun also das schwingende Bein in die Fig. 3, (19) bis (28), abgebildeten Lagen und beschreibt den durch die Fussspitzen angedeuteten Schwingungsbogen, während der Rumpf, auf das andere sich mehr und mehr streckende Bein gestützt, den durch die Schenkelköpfe angedeuteten Weg zurücklegt. — Auf eine entgegengesetzte Weise verändern wir die Gestalt des schwingenden Beins, wenn der Zeitpunkt kommt, wo seine Schwingung endigen und dasselbe wieder auf den Boden gesetzt werden soll. Wir verlängern es dann, indem wir das Bein im Knie so lange strecken, bis es den Fussboden berührt.

Es würde eine Verschwendung der Kraft unserer Muskeln gewesen sein, wenn die drehende Bewegung des am Rumpfe hängenden Beins von hinten nach vorn durch die Muskeln bewirkt worden wäre. Denn da die Beine, wie wir gesehen heben, äusserst beweglich mit dem Rumpfe verbunden sind und an demselben wie Pendel hin und her schwingen können, so ist die Schwere des Beins ihrer Natur nach allein schon hinreichend, das zurückgebliebene Bein, während es am Rumpfe hängt, vergleichungsweise zum letzteren vorwärts zu bewegen. Während dieser Zeit erschlaffen die Muskeln, welche es mit dem Rumpfe verbinden, und erholen sich von ihrer Anstrengung, wodurch sie längere Zeit vor Ermüdung bewahrt werden. Daher kommt es z. B., dass die Bewegung des Gehens länger als alle anderen Bewegungen, die einen gleichen Kraftaufwand erfordern, und sogar länger als das Stehen in

unveränderter Stellung ohne Ermüdung ununterbrochen fortgesetzt werden kann.

Die Bewegung des der Schwere überlassenen, hängenden Beins ist aber an bekannte, aus der Natur der Schwerkraft hervorgehende Gesetze gebunden, und das Bein würde ihnen gemäss, wenn es nicht durch das Aufsetzen auf den Boden gehemmt würde, wie ein Pendel, seine Schwingungen in gleichen aus der Lage und dem Gewichte seiner Theile zu berechnenden Zeiträumen wiederholen. Wenn aber auch das Bein vor Vollendung seiner Schwingung auf dem Boden aufgesetzt wird, so erleichtert doch die ausschliessliche Wirksamkeit der Schwere, durch die es dahin gebracht wurde, die genaue Wiederholung der Schritte in gleichem Tempo ausserordentlich. Denn ohne dass wir auf unsere Beine Acht haben, können wir sicher darauf rechnen, dass das Bein jeden bestimmten Abschnitt seiner Schwingungsbahn immer in gleicher Zeit zurücklegt, und dass, wenn eine gewisse Zeit vom Beginne seiner Schwingung verflossen ist, es immer eine gewisse Lage gegen den übrigen Körper angenommen haben wird. Die Einrichtung, vermöge deren das am Rumpfe hängende Bein wie ein Pendel von hinten nach vorn schwingt, ist daher sehr nützlich, damit die Schritte mit einer gewissen Gleichmässigkeit ihrer Länge und ihrer Dauer auf einander folgen.

Betrachtungen über die Bewegungen des rechten und des linken Beins, welche während eines Schritts gleichzeitig erfolgen.

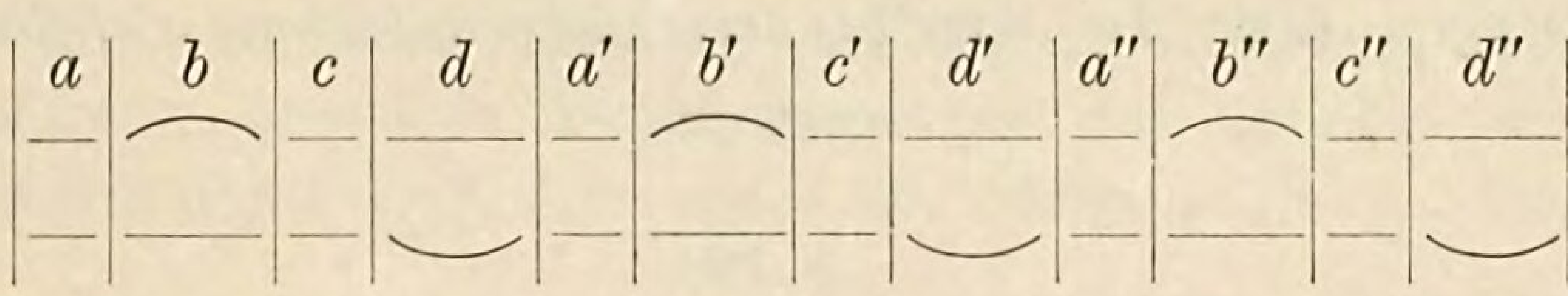
§ 18.

Bei jedem Schritte, den wir beim Gehen machen, kann man zwei Zeiträume unterscheiden, einen längeren, wo der Rumpf mit dem Boden nur durch ein Bein, und einen kürzeren, wo er durch beide Beine in Verbindung ist.

Während das eine Bein am Rumpfe hängt und wie ein Pendel nach vorn schwingt, wird der Rumpf nur durch das andere Bein unterstützt. Indessen wechseln die beiden Zustände, wo der Rumpf entweder vom einen, oder vom anderen Beine getragen wird, in der Regel nicht so mit einander ab, dass der eine in dem Momente seinen Anfang nähme, wo der andere endigt. Dieses ist nur beim allerschnellsten Gehen der Fall, wo das Gehen an das Laufen grenzt. Bei jeder anderen Gangart giebt es zwischen diesen beiden Zuständen einen Uebergangszustand, einen Zeitraum, während dessen beide Beine mit dem Erdboden in Berührung sind. Dieser Zeitraum tritt in dem Augenblicke

ein, wo das vordere Bein auf den Fussboden aufgesetzt wird, und endigt in dem Augenblicke, wo das hintere Bein den Boden verlässt. Während dieses Zeitraums erhebt sich das hintere Bein auf die Zehen. Dieser Zeitraum, wo der Körper beim Gehen mit dem Boden doppelt verbunden ist, ist bei sehr langsamem Gehen ungefähr halb so gross, als der, wo man auf einem Beine steht. Er wird desto kleiner, je geschwinder man geht. Bei der Fig. 3 abgebildeten Gangweise, die mit einer mittleren Geschwindigkeit geschieht, stellen die Figuren (1) bis (4) den Zeitraum dar, wo beide Beine auf dem Boden stehen. In diesem Falle verhält sich dieser Zeitraum zu dem, wo nur ein Bein auf dem Boden steht, nahe wie 4 zu 10. — Der dritte Theil enthält unsere Versuche über die Grösse dieser Zeiträume.

Um ein Bild davon zu geben, wie die Zeiträume, wo beide Beine aufstehen, mit denjenigen abwechseln, wo das nicht der Fall ist, wollen wir den Zeitraum, wo ein Bein am Rumpfe hängend in der Luft schwingt, durch eine bogenförmige Linie, den Zeitraum, wo ein Bein auf dem Fussboden steht, durch eine gerade Linie bezeichnen, und durch die obere Reihe von Zeichen die Bewegungen des linken, durch die untere Reihe die des rechten Fusses andeuten, und durch senkrechte Striche die Grenzen der Zeitabschnitte angeben, wo der Körper von beiden oder nur von einem Beine unterstützt wird:



Man sieht hier zuerst einen kurzen Zeitraum *a*, wo der Körper von beiden Beinen unterstützt wird, hierauf folgt ein langer Zeitraum *b*, wo das linke Bein am Körper hängt und schwingt, während der rechte Fuss fortwährend mit dem Boden in Berührung bleibt, dann kommt wieder ein kurzer Zeitraum *c*, wo wieder beide Beine mit dem Boden in Berührung sind, dann wieder ein langer *d*, wo das rechte Bein am Körper hängt und schwingt und das linke den Körper allein unterstützt u. s. w. Betrachtet man nun an der Figur, was *ein* Bein successive thut, so sieht man, dass jedes Bein einen längeren Zeitraum hindurch mit dem Fussboden in Berührung ist, und dass darauf ein kürzerer Zeitraum folgt, wo es am Körper hängt und frei in der Luft schwingt. Beide Beine wechseln in diesen beiden Zuständen so mit einander ab, dass der kürzere Zeitraum, wo das linke Bein in der Luft schwebt, symmetrisch in die Mitte des längeren Zeitraums fällt, wo das rechte mit dem Fussboden in Berührung ist, und umgekehrt.

Diese gleichzeitige Lage der Gliedmaassen während eines Schritts ist in Fig. 11 dargestellt. Man sieht den Schattenriss des Skelets eines

Gehenden während eines Schritts in zwölf auf einander folgenden Stellungen dargestellt. Die Figur und der Weg, den sie zurücklegt, ist 10 Mal verkleinert. Damit sich die Beine einander weniger decken, sind die Figuren, in vier Gruppen vertheilt, in Fig. 10 besonders dargestellt, und man muss sich daher, um sich die Fortbewegung während eines Schritts vorzustellen, jene vier Gruppen aneinander gerückt denken, wie es in Fig. 11 wirklich geschehen ist. Die in Fig. 10 vorangestellte Gruppe, (4) bis (7),[1]) stellt den Zeitraum dar, wo der Körper von beiden Beinen unterstützt wird, alle anderen zusammen genommen geben eine Ansicht von der Lage der Gliedmaassen, während der Körper nur vom rechten Beine getragen wird, und während also das linke Bein am Rumpfe hängt. Die zweite Gruppe, (8) bis (11), stellt den Gehenden in der Zeit dar, wo das rechte Bein hinten den Fussboden verlassen hat und darauf schwingend sich noch hinter dem tragenden linken Beine befindet. Die dritte Gruppe, (12) bis (14), stellt den Zeitraum dar, in dem das rechte schwingende Bein das linke tragende Bein überholt. Die vierte Gruppe endlich, (1) bis (3), stellt den Zeitraum dar, welcher dem Augenblicke vorausgeht, wo die Schwingung des schwebenden Beins dadurch unterbrochen wird, dass es der Gehende vorn aufsetzt.

Betrachtungen über die Kräfte, welche beim Gehen auf den Rumpf wirken.

§ 19.

Der Rumpf verhält sich beim Gehen wie ein am unteren Ende unterstützter Stab, der vorwärts geneigt fortgetragen wird.

Es ist unmöglich, einen genau senkrechten, auf dem Finger stehenden, balancirten Stab horizontal vor- oder rückwärts zu bewegen, ohne dass er fällt. Er muss nach derjenigen Seite geneigt sein, nach der er fortgetragen werden soll, weil es sonst an einer Kraft fehlen würde, durch die er sowohl in Bewegung gesetzt, als auch in dieser Bewegung bei vorhandenem äusseren Widerstande, z. B. der Luft, erhalten werden kann. Ist nun dieser äussere Widerstand bekannt, den der Stab erfährt, wenn er fortgetragen wird, so lässt sich aus der gegebenen Geschwindigkeit des Fingers die angemessene Neigung des Stabs, oder umgekehrt aus der gegebenen Neigung des Stabs die ihr angemessene Geschwindigkeit des Fingers berechnen. Wie ein solcher Stab, der auf dem Finger balancirt und fortgetragen wird, verhält sich der auf den

[1]) Diese Nummern entsprechen den Nummern in Fig. 11. Die Figuren (1), (2), (3), welche in Fig. 11 die ersten sind, bilden hier die letzte Gruppe.

Schenkelköpfen balancirte und fortgetragene Rumpf. Wie jener Stab auf dem Finger, so wird auch der Rumpf des menschlichen Körpers auf dem tragenden Schenkelkopfe in labilem Gleichgewicht erhalten. Die Bewegung der Schenkel beim Gehen muss daher, um den Rumpf nicht fallen zu lassen, wie die Bewegung des Fingers beim Forttragen des Stabs, so eingerichtet werden, dass sich ihre Köpfe nach der Gegend, nach welcher das obere Ende des Rumpfs sich neigt, horizontal fortbewegen. Wir geben daher dem Rumpfe beim Gehen eine solche Neigung, dass sie der Fortbewegung der Schenkelköpfe angemessen ist, und umgekehrt, wenn wir eine gewisse Neigung des Körpers beibehalten wollen (welche einer bestimmten Geschwindigkeit entspricht), so messen wir die Bewegungen der Beine so ab, dass die Schenkelköpfe mit der jener Neigung angemessenen Geschwindigkeit fortschreiten. Man geht geschwinder, wenn der Rumpf mehr, langsamer, wenn er weniger nach vorn geneigt ist; kurz, man passt die Neigung des Rumpfs und die Bewegung der Beine beim Gehen eines dem anderen so an, dass der Rumpf, während er fortgetragen wird, seiner beweglichen Stellung auf den Schenkelköpfen ungeachtet, von selbst im Gleichgewichte bleibt, und alle Muskelkraft, die sonst zur Herstellung und Erhaltung dieses Gleichgewichts erfordert werden würde, erspart, und kein Muskel um dieses Zwecks willen angestrengt oder in Spannung erhalten wird. Daher erkennt man denn auch sogleich aus der Richtung, nach welcher der Rumpf eines gehenden Menschen geneigt ist, die Richtung, in der er geht, und schätzt nach der Grösse der Neigung die Geschwindigkeit.

§ 20.

Die Geschwindigkeit des Gangs lässt sich dadurch vergrössern, dass man die Schritte schneller auf einander folgen lässt und zugleich sie länger macht.

Es ist interessant, dass sowohl die theoretische Betrachtung als auch die Versuche über den natürlichen Gang eine gleichzeitige Zunahme der Grösse der Schritte und ihrer Zahl in bestimmter Zeit ergeben haben. Je weniger Zeit ein Schritt kostet, desto grösser ist er. Auf den ersten Anblick würde man geneigt sein, das Entgegengesetzte zu vermuthen, dass ein Schritt um so mehr Zeit kosten werde, je länger er ist, was aber nicht der Fall ist.

§ 21.

Kennzeichen und Bedingungen für das langsame und schnelle Gehen.

Wir sind im Stande, mehrerlei Kennzeichen eines langsamen oder geschwinden Gangs aufzuzählen. Wir können sagen, beim geschwinden Gehen werde der Rumpf mehr geneigt, oder der Zeitraum, wo man auf

beiden Beinen steht, sei sehr klein oder Null, oder die Schritte seien sehr gross, oder sie seien sehr geschwind. Keiner von diesen Umständen wird aber als die Ursache, sondern alle werden nur als die natürlichen Folgen des schnellen Gehens betrachtet. Fragt man nun nach der Ursache aller dieser verschiedenen Wirkungen, oder nach dem eigentlichen Hülfsmittel, welches wir anwenden, um unseren Gang zu beschleunigen, so sagen wir, die Grundbedingung eines langsamen oder schnellen Gangs liegt *in der Höhe, in welcher man die beiden Schenkelköpfe über dem Fussboden* hinträgt. Je höher die Schenkelköpfe über dem Fussboden getragen werden, desto langsamer, je tiefer, desto schneller geht man. Denn je höher oder je tiefer die Schenkelköpfe über dem Fussboden getragen werden, desto kleiner oder grösser sind die einzelnen Schritte, weil das Bein, welches beim Gehen auf dem Boden aufstehen soll, sich nur wenig von der vertikalen Lage entfernen kann, wenn sein oberes Ende (der Schenkelkopf) hoch liegt; dagegen, wenn letzteres tief liegt, sich weit entfernen kann. Mit dieser Entfernung hängt aber die Grösse der Schritte zusammen. Ferner je höher die Schenkelköpfe getragen werden, desto grösser ist die Dauer der einzelnen Schritte, je tiefer, desto kürzer ist ihre Dauer; denn je tiefer die Schenkelköpfe getragen werden, eine desto geneigtere Lage erhält das stemmende Bein, desto grösser ist die Beschleunigung des Körpers, desto weniger dürfen die Beine lange stehen bleiben, wenn sie durch ihre Schwere getrieben den Rumpf wieder einholen sollen, desto vertikaler ist die Stellung des Beins beim Auftreten, und kleiner der Zeitraum des Stützens auf beide Beine, desto weniger übertrifft endlich die Dauer eines Schritts die Hälfte der Dauer einer Schwingung des Beins. Kurz, unserer Theorie zu Folge, ergeben sich aus der Höhe, in welcher man den Schenkelkopf über dem Fussboden hinträgt, alle Unterschiede des langsamen und schnellen Gehens als nothwendige Folgen.

Werden die Schenkelköpfe beim Gehen hoch getragen, so kann das Bein in dem Augenblicke, wo es senkrecht auf dem Boden steht, nur wenig gebogen oder verkürzt sein und kann folglich nachher, wenn es stemmt, auch nur wenig wieder verlängert werden. Dagegen, wenn die Schenkelköpfe beim Gehen tief getragen werden, kann das Bein im Augenblicke, wo es senkrecht auf dem Boden steht, sehr gebogen oder verkürzt, und darauf beim Stemmen sehr gestreckt oder verlängert werden. Man kann daher auch sagen, das langsame und geschwinde Gehen, und alles, wodurch beide unterschieden sind, hänge von *der Grösse der abwechselnden Verkürzung und Verlängerung*, die das Bein beim Gehen erleide, ab, oder genauer, vom Grade der Beugung des Beins in dem Augenblicke, wo es senkrecht auf dem Boden steht.

Jeder sieht sogleich, dass der 20 Mal verkleinert dargestellte

Mensch in Fig. 12 viel geschwinder geht, als in Fig. 13. In der That ist Fig. 12 die Skizze eines gehenden Menschen, dessen Schritte 700 Millimeter, Fig. 13 dagegen die Skizze des nämlichen Menschen, dessen Schritte blos 600 Millimeter lang sind. Vorausgesetzt, wie dies wirklich nahe der Fall ist, dass er das erste Mal in 0,35 Sekunde, das andere Mal in 0,422 Sekunde einen Schritt macht, so geht er im ersteren Falle fast doppelt so geschwind als im letzteren. Die grössere Länge der Schritte in Fig. 12, wie man leicht sieht, war nur dadurch möglich, dass der Rumpf auf gekrümmten Beinen und die Schenkelköpfe in einer geringen Höhe über dem Erdboden hingetragen werden, denn dadurch ist es nur möglich, dass die Beine abwechselnd eine so geneigte Lage annehmen, wie das hintere Bein in Fig. 12. — Beide Figuren stellen „das Gehen auf den Zehen" (wie wenn immer nur eine und dieselbe Stelle der Fusssohle auf den Boden gedrückt würde) dar, wo die Schrittlänge viel kleiner ist, als wenn[1]) die ganze Fusssohle vom Boden abgewickelt wird. Verhältnissmässig stellt daher Fig. 13 schon grosse Schritte dar, der Fig. 12 dargestellte Schritt aber ist der grösste Schritt, der beim Gehen auf den Zehen vorkommt. Bei kleineren Schritten, als Fig. 13a, fällt der auch dann noch Statt findende Unterschied der Höhen weniger in die Augen.

§ 22.

Die Zahl der Schritte, die ein Gehender in einer gegebenen Zeit macht, oder ihre Dauer, hängt erstlich von der Länge des am Rumpfe hängenden, gleich einem Pendel von hinten nach vorn schwingenden Beins ab, zweitens von der früheren oder späteren Unterbrechung dieser Schwingung durch das Aufsetzen des schwingenden Beins auf den Fussboden.

Das Bein muss immer verkürzt werden, wenn es am Rumpfe hängt, und vom Boden nicht gehindert schwingen soll (siehe § 17). Nun wird das Bein beim schnellen Gehen zwar alsdann noch mehr verkürzt, als beim langsamen, es schwingt dann aber auch in einem viel grösseren Bogen; daher es sich denn findet, dass die Dauer der Schritte durch diese Verkürzung des Beins nur wenig kleiner wird. Desto mehr haben wir aber in unserer Gewalt, die Dauer der Schritte dadurch abzuändern, dass wir die Schwingung des Beins früher oder später unterbrechen.

Das hintere Bein, wenn es den Fussboden verlassen hat und am Körper hängend in der Luft schwebt, bewegt sich, durch seine eigene Schwere getrieben, nach vorn. Um den Körper unterstützen zu können, bewegt es sich *wenigstens so weit, dass sein Fuss senkrecht unter seinen Schenkelkopf* gelangt; denn in dieser senkrechten Stellung trägt nicht allein das Bein den Rumpf mit der mindesten Anstrengung, sondern es

[1]) [wie in Figur 13a.]

ist dann auch der Augenblick da, wo am wirksamsten jeder äusseren Störung des Gangs, von welcher Seite sie kommen möge, vorgebeugt werden kann durch Verlegung des Stemmpunkts auf verschiedene Stellen der Fusssohle, zumal wenn der Fuss eine grosse Fläche darbietet oder auswärts steht (daher die grössere Sicherheit beim Gehen, wenn die Füsse auswärts, als wenn sie dem Wege parallel gesetzt werden). — Das Bein braucht aber zu der Bewegung, durch welche sein Fuss senkrecht unter seinen Schenkelkopf gelangt, eben so wie ein Pendel, um von der grössten Elongation in die senkrechte Lage zu gelangen, eine bestimmte Zeit, nämlich die Hälfte der Zeit, welche zu einer ganzen Schwingung nöthig ist. Daher giebt es bei jedem Menschen eine gewisse Schnelligkeit der Aufeinanderfolge der Schritte, eine gewisse *grösste Zahl der Schritte* in einer gegebenen Zeit, die er beim naturgemässen Gang (so schnell er sei) nicht überschreiten kann. Sie lässt sich im Voraus bestimmen, wenn man ausgemittelt hat, wie viel Zeit das Bein bei erschlafften Muskeln bedarf, um hin oder her zu schwingen; denn die kleinste Schrittdauer ist der Hälfte einer solchen Schwingungsdauer gleich.

Man kann aber die Aufeinanderfolge der Schritte viel langsamer machen, als sie beim schnellsten Gehen ist. Diese Fähigkeit beruht darauf, dass man das von hinten nach vorn in der Luft schwingende Bein nicht, wie beim schnellsten Gehen, dann schon, wenn der Fuss senkrecht unter dem Schenkelkopfe des Beins anlangt, sondern später, wenn der Fuss in seiner Schwingungsbahn weiter vorgerückt ist, aufsetzen darf. Die gehenden Menschen Fig. 14, 15, 16 haben alle gleich lange Beine; alle sind auch in dem Augenblicke dargestellt, wo das bisher schwingende Bein eben ausgestreckt und auf den Boden gesetzt wird; aber der Gehende Fig. 16, welcher langsam geht, hat sein Bein weit nach vorn, Fig. 15, welcher geschwinder geht, hat es weniger weit nach vorn, Fig. 14 endlich, welcher so geschwind geht, als es nur möglich ist, hat es gerade senkrecht auf den Boden gesetzt. Man sieht aus den hierzu gezeichneten Bahnen, die das schwingende Bein bei allen dreien durchlief, dass das Bein Fig. 16 fast seine ganze Schwingungsbahn, das Bein Fig. 15 ein Stück über die Hälfte, das Bein Fig. 14 gerade die Hälfte durchlaufen hat, und dass daher der hier punktirt gezeichnete Theil der Schwingungsbahn, den das Bein noch durchlaufen haben würde, wenn es nicht durch Aufsetzen auf den Boden daran gehindert worden wäre, bei Fig. 16 am kleinsten, bei Fig. 15 grösser, bei Fig. 14 am grössten ist. Nothwendig erforderte der vom Beine in Fig. 16 gemachte Theil der Schwingung die meiste Zeit, der vom Beine in Fig. 15 weniger, der vom Beine in Fig. 14 die wenigste Zeit. Schwingt nun das Bein beim Gehen, wie in Fig. 16 und Fig. 15, über die Ver-

tikale nach vorn hinaus, so wird die Dauer der Schritte nicht allein um so viel vergrössert, als das Bein länger schwingt, sondern sie wird ausserdem (was noch mehr beträgt) um einen Zeitraum, in welchem beide Beine auf dem Boden stehen, vermehrt, welcher dadurch erst hinzu kommt. Denn dieser Zeitraum beginnt erst in dem Augenblicke, wo der Fuss vorn aufgesetzt wird, und endigt mit dem Augenblicke, wo der auch nach diesem Aufsetzen des Fusses sich fortbewegende Schenkelkopf zur Vertikalen des aufgesetzten Fusses gelangt. Wird daher das Bein sogleich anfangs vertikal aufgesetzt, so ist dieser Zeitraum Null, wächst aber beim Langsamgehen mit dem Stücke, welches das Bein in seiner Schwingungsbahn über die Hälfte beschreibt. Dieser beim Langsamgehen hinzukommende Zeitraum (wo beide Beine aufstehen) ist bei Fig. 16 am grössten, denn er dauert so lange Zeit, als der mit dem Schenkelkopfe zusammen sich fortbewegende Rumpf braucht, den *grossen* Theil des Wegs zu durchlaufen, um welchen das Bein durch Ueberschreitung der Vertikalen ihnen vorgeeilt ist, welche Zeit um so beträchtlicher ist, da der Rumpf und der Schenkelkopf sich sehr langsam fortbewegen. Die Dauer der Schritte ist in Fig. 16 daher sehr gross. Kleiner ist die Dauer der Schritte in Fig. 15, weil der hier hinzukommende Zeitraum (wo beide Beine aufstehen) nur so lange dauert, als der Rumpf sammt dem Schenkelkopfe braucht, um das *kleinere* Stück des Wegs, um welches hier das Bein durch Ueberschreitung der Vertikalen vorangeeilt ist, zu durchlaufen, welche Zeit auch darum hier geringer ist, weil die Geschwindigkeit des Rumpfs und Schenkelkopfs hier schon grösser ist. Die Dauer der Schritte in Fig. 14 endlich ist am kleinsten, da der Zeitraum, wo beide Beine aufstehen, hier *ganz verschwindet*, die beiden Beine sich also stetig in ihrer Schwingung ablösen, und auch von ihrer Schwingungsbahn nur den möglichst kleinsten Theil, nämlich blos die Hälfte vollenden, wodurch die Dauer jedes Schritts auf die halbe Dauer einer Schwingung gebracht wird.

Will man sehr langsam gehen, und auf die Grösse der Schritte gar keinen Bedacht nehmen, so kann man auch das in der Luft schwebende Bein so lange nach vorn schwingen lassen, bis es von selbst wieder umkehrt, und kann es wieder ein Stück zurückschwingen lassen, um dann erst auf den Boden gesetzt zu werden. Indessen ist eine solche Gangweise nicht zweckmässig.

Bei zwei Menschen hat es einen merklichen Einfluss auf die Dauer ihrer Schritte, wenn der eine von ihnen lange, der andere kurze Beine hat. Beim schnellsten Gehen verhält sich die Dauer ihrer Schritte wie die Schwingungsdauer ihrer Beine und nahe eben so bei den langsameren Gangarten. Beobachtet man daher Kinder und Erwachsene, oder über-

haupt kleine und grosse Menschen, wenn sie so gehen, wie es ihnen am bequemsten ist, so sieht man, dass Jeder, der eine andere Länge der Beine hat, dieselben in einem anderen Tempo bewegt. Man kann zwar so, wie jedes andere Glied, auch die Beine durch die Kraft der Muskeln schneller, als wenn sie blos von ihrer Schwere getrieben werden, von hinten nach vorn bewegen, es wird aber dazu eine so bedeutende und ununterbrochen fortgesetzte Anstrengung der Muskeln erfordert, dass man ein solches unnatürliches Trippeln nicht lange fortsetzen kann.

§ 23.

Es giebt zwei dem Menschen natürliche Gangarten: den gravitätischen Schritt, bei welchem der Rumpf sehr gerade und am höchsten über den Erdboden hingetragen wird, und den Eilschritt, bei welchem der Rumpf mehr geneigt und in geringerer Entfernung vom Boden (also auf gebogenen Beinen) getragen wird.

Der Grund, auf dem diese Eintheilung der Gangarten beruht, ist folgender. In dem Augenblicke, wo das von hinten nach vorn schwingende Bein vor der Vertikalen seines Schenkelkopfs auf den Boden gesetzt wird, *macht entweder das neu aufgesetzte oder das andere noch stehende Bein einen kleineren Winkel mit der Vertikalen.* Es ist natürlich, dass dasjenige Bein, welches diesen kleineren Winkel macht, die Last des Körpers trägt, weil es diese Last mit geringerer Anstrengung tragen kann; wonach also im *ersteren* Falle das *aufsetzende* Bein das andere in dieser Funktion des Tragens gleich ablöst; im *letzteren* Falle dagegen das andere noch *stehende* Bein die Last des Körpers für's Erste zu tragen fortfährt, das aufsetzende Bein dagegen für's Erste blos den Boden berührt (ohne dagegen zu stemmen) und durch die Reibung am Boden seine horizontale Bewegung hemmt. Aus der Verschiedenheit dieses Umstands ergeben sich grosse Verschiedenheiten der Gangarten, bei denen sie Statt findet, und wir bezeichnen daher diese Gangarten mit besonderen Namen: dem *gravitätischen* Schritte und dem *Eilschritte.* Jener findet Statt, wenn das vorn aufsetzende Bein einen grösseren Winkel, dieser, wenn dieses Bein einen kleineren Winkel mit der Vertikalen macht, als das andere hinten aufstehende Bein im nämlichen Augenblicke.

Obwohl der *gravitätische* Schritt nur selten gebraucht wird, so kann er doch von den Malern bei manchen Gelegenheiten mit Vortheil in der Darstellung benutzt werden. Um ihn daher genauer zu charakterisiren, bemerken wir, dass bei dieser Gangart nur sehr kleine Schritte möglich sind (die ungefähr nur der Länge des Fusses gleich kommen), — ferner, dass, weil der vordere Fuss beim Aufsetzen auf den Boden zuerst den Boden nur berühren, nicht aber gegen den Boden sich stemmen

soll, man diese Berührung nahe an der Fussspitze mit den Zehen zu beginnen pflegt, — dass der Zeitraum, während dessen beide Beine auf dem Boden stehen, grösser ist, als der, wo nur ein Bein aufsteht, — dass vom schwingenden Beine fast die ganze Pendelschwingung vollendet wird, — dass endlich die Geschwindigkeit des Körpers während der Dauer eines Schritts sehr ungleich ist, dieselben Ungleichheiten aber bei den folgenden Schritten periodisch wiederkehren. Blinde und solche Menschen, die im Finstern gehen, bedienen sich dieses Gangs öfter, als Sehende, nicht allein wegen der Kleinheit der Schritte, sondern auch, weil der vorn aufsetzende Fuss weiter ausgestreckt und leise aufgesetzt wird, und daher tastet und das Terrain recognoscirt. Daher muss man auch Blinde, die man gehend zeichnen will, in dieser Gangart darstellen.

§ 24.

Ueber die vertikalen Schwankungen des Körpers beim Gehen.

Wären die Beine keiner solchen Verkürzung und Verlängerung fähig, wie wir an ihnen kennen gelernt haben, so leuchtete ein, dass der Schenkelkopf des aufstehenden Beins beim Fortrücken eine Kreislinie um den Fuss als Mittelpunkt beschreiben müsste und dass er in dieser Kreislinie zuerst ein Stück aufwärts und dann wieder ein Stück abwärts sich bewegen würde: der Rumpf würde folglich bei jedem Schritte beträchtlich auf- und abschwanken, und diese Schwankungen müssten um so grösser sein, je grösser die Schritte selber sind. Da aber die Beine nicht von unveränderlicher Länge sind, sondern sich sehr beträchtlich verkürzen und verlängern lassen (worüber wir beim Gehen selbst angestellte Messungen im dritten Theile mittheilen werden), so geht daraus hervor, dass eine vollkommen horizontale Bewegung des Rumpfs dadurch möglich wird. Beobachten wir nun aber den Rumpf, oder einen gut gewählten und leicht zu erkennenden Punkt am Rumpfe, beim Gehen genau mit einem horizontal aufgestellten Fernrohre aus einiger Entfernung, indem wir an die Stelle des Fadenkreuzes ein Glasmikrometer setzen, so sehen wir, dass eine so vollkommen horizontale Bewegung des Rumpfs nicht Statt findet, sondern dass er in der That vertikale Schwankungen macht, die aber viel kleiner sind, als sie sein würden, wenn die Beine sich nicht verkürzen und verlängern könnten. Sie betragen nach unseren Messungen etwa 32 Millimeter. Und zwar sind sie nicht kleiner bei kleineren Schritten, grösser bei grösseren Schritten, sondern sie sind überhaupt wenig verschieden (unter sonst gleichen äusseren Verhältnissen) und im Gegentheile etwas grösser bei kleineren, kleiner bei grösseren Schritten. Kurz, man sieht aus der Beobachtung, dass sie aus einer ganz anderen Quelle als aus der Steifigkeit und Unausdehnsamkeit der Beine herrühren müssen.

Fragt man daher, woher diese kleinen, vertikalen Schwankungen des Rumpfs beim Gehen rühren und wozu sie dienen (da es scheint, dass man sie müsste ganz vermeiden und dadurch den Gang noch gleichförmiger und schöner machen können), so erwidern wir, sie rühren aus der Nothwendigkeit her, die wir beim Gehen empfinden, die Geschwindigkeit des Rumpfs zu mässigen, die bei derjenigen Wirksamkeit der Streckkraft, wie dieselbe sein muss, um den Rumpf immer in gleicher Höhe zu erhalten, leicht zu gross werden würde. Das einfachste Mittel, welches wir haben, um diese Geschwindigkeit zu mässigen, besteht darin, dass wir die Streckkraft des Beins von Zeit zu Zeit zu wirken aufhören lassen, wo denn der Körper in parabolischer Bahn etwas herabfallen wird. Damit der Körper aber nicht nach und nach immer tiefer falle, muss eine Zeit kommen, in der er wieder eben so viel gehoben wird. Zu keiner Zeit kann diese Hebung mit weniger Anstrengung bewirkt werden, als in dem Augenblicke, wo das eine Bein senkrecht steht. Das beobachtete geringe Fallen des Rumpfs bei jedem Schritte, sagen wir daher, finde unmittelbar *vor* dem Augenblicke Statt, wo ein Bein vertikal zu stehen kommt, das beobachte Steigen des Körpers aber, *in* diesem Augenblicke selbst. Eine vollständigere Betrachtung über diese vertikalen Schwankungen des Rumpfs beim Gehen ist im dritten Theile enthalten.

Zugleich leisten aber diese Schwankungen noch einen besonderen Dienst, der beim Gehen von grosser Wichtigkeit ist, und den Gang des Menschen von den Einflüssen äusserer und zufälliger Umstände unabhängig macht. Wir haben nämlich in unserer Gewalt, den Körper bald längere bald kürzere Zeit fallen zu lassen, je nachdem äussere Kräfte auf uns wirken und die Wirkung unserer Streckkraft vermehren oder vermindern, und wir können dadurch bewirken, dass die Summe der Wirkungen, welche von der Streckkraft und von äusseren Kräften herrührt, die nämliche bleibt, auch wenn die letzteren veränderlich sind — wir können durch die Schwankungen des Körpers den Einfluss der äusseren Kräfte auf den Gang *kompensiren.* Es geht aus dieser Betrachtung unmittelbar hervor, dass wenn die Schwankungen des Rumpfs beim Gehen diesen Dienst wirklich leisten sollen, sie grösser sein müssen bei günstigem Winde, kleiner bei widrigem Winde, und wenn letzterer eine *gewisse* Stärke hat, ganz verschwinden müssen.

§ 25.

Ueber die Drehung des Rumpfs beim Gehen.

Es ist fehlerhaft, wenn man zulässt, dass der Rumpf sich beim Gehen bald rechts bald links drehe. Die Ursache einer solchen Drehung kann eine doppelte sein, nämlich: *erstens*, weil das *stemmende* Bein

nach seiner schrägen Richtung seitwärts am Becken drückt; *zweitens*, weil das *hängende*, schwingende Bein nach seiner schrägen Richtung am Becken seitwärts *zieht*. Die Natur hat dem Menschen sehr einfache und wirksame Mittel gegeben, beiden Ursachen entgegen zu wirken. Um nämlich zu verhüten, dass das *stemmende* Bein den Rumpf nicht drehe, können der gegen den Boden stemmende *Fusspunkt*, der gegen den Rumpf stemmende *Schenkelkopf* und der *Schwerpunkt* des Rumpfs leicht immer *in einer dem Wege parallelen Vertikalebene* erhalten werden, was auch wirklich geschieht. Es wird dadurch die Drehung des Rumpfs *durch das stemmende Bein* verhütet. *Das schwingende* Bein zieht aber alsdann an einem horizontalen Hebel, der dem ganzen Abstande der beiden Schenkelköpfe von einander gleich ist und dreht den Rumpf, so lange es noch nicht zur vertikalen Lage gelangt, oder über dieselbe hinaus gegangen ist. Die Drehung des Rumpfs aus dieser zweiten Ursache zu verhüten, hat uns die Natur in der gleichzeitigen *Schwingung der Arme* ein sehr einfaches und wirksames Mittel gegeben. Der rechte Arm braucht nämlich nur von vorn nach hinten zu schwingen, während das rechte Bein von hinten nach vorn schwingt, was wirklich geschieht, so wie umgekehrt der linke Arm von vorn nach hinten schwingt, wenn das linke Bein von hinten nach vorn schwingt. Schwingen nun beide Arme immer gleichzeitig, aber auf entgegengesetzten Seiten des Körpers nach entgegengesetzten Richtungen, so summiren sich ihre Wirkungen und sie können alsdann um so leichter (durch eine kleinere Schwingung) die Drehung des Rumpfs, welche *das schwingende Bein* hervorbringen würde, verhüten.

Mit Unrecht hat man in dieser Bewegung der Arme eine Aehnlichkeit mit den Bewegungen der Vorderbeine bei den Säugethieren finden wollen. Der von uns angegebene Nutzen leuchtet sehr ein, wenn man mit fest angeschlossenen, z. B. auf der Brust aufliegenden Armen schnell zu gehen versucht; denn dann ist die Drehung schwer zu vermeiden.

Ueber das Laufen.

Allgemeine Betrachtungen über das Laufen.

§ 26.

Das Laufen unterscheidet sich vom Gehen dadurch, dass an die Stelle des Zeitraums beim Gehen, wo beide Beine auf dem Boden stehen, ein Zeitraum tritt, wo kein Bein den Boden berührt.

Der Geschwindigkeit, die wir durch das Gehen erreichen können, ist durch den Mechanismus des Gehens selbst eine bestimmte Grenze

gesetzt, theils weil der Raum, durch den wir uns bei jedem Schritte hindurchbewegen, von dem einen Beine überspannt werden muss, während das andere senkrecht steht, — wodurch der Grösse der Schritte die halbe Spannweite der beiden Beine zur Grenze gesetzt ist, — theils weil wir die Schritte nicht so oft wiederholen können, als es zu einem noch geschwinderen Fortkommen vortheilhaft sein würde, weil die Zahl der Schritte beim Gehen in einer gegebenen Zeit die doppelte Zahl der Pendelschwingungen, welche das Bein in derselben Zeit machen würde, nicht übersteigen kann, — wodurch der Dauer der Schritte die halbe Schwingungsdauer des Beins zur Grenze gesetzt ist. Das Laufen ist dagegen eine Methode der Bewegung, deren Geschwindigkeit nicht an jene dem Gehen gesetzte Grenze gebunden ist, sondern sowohl zahlreichere als grössere Schritte zu machen gestattet. Eine noch *grössere Geschwindigkeit* der Fortbewegung, als beim Gehen möglich ist, ist also der Hauptzweck des Laufens. Man *kann* jedoch auch so laufen, dass man sich dabei langsamer fortbewegt, als beim schnellen Gehen.

Diesen Hauptzweck des Laufens erreichen wir nun dadurch, dass wir den Körper bei jedem Schritte eine kurze Zeit hindurch *in der Luft schweben* lassen, indem wir ihm eine Wurfbewegung ertheilen. Während dieser Zeit hängen beide Beine am Rumpfe und fliegen mit ihm fort, und *jeder Schritt* kann also *grösser* werden, als die Spannweite der Beine beim Gehen gestattet.[1]) Beim Laufen kann daher die Streckkraft stärker wirken, als beim Gehen, weil es willkürlich ist, wie weit der Körper fliege, bis ein Bein aufgesetzt wird. — Dass der Körper nebst den Beinen beim Laufen abwechselnd fliegt, bewirkt ferner, dass man auch *mehr Schritte in gegebener Zeit* macht, als beim Gehen. Bei beiden Bewegungsarten muss das Bein, das hinten den Boden verlässt, vorschwingen, so weit, dass es wenigstens senkrecht unter seinem Schenkelkopfe zur Unterstützung des Rumpfs wieder aufgesetzt werden kann. Beim schnellsten Gehen und beim Laufen schwingt das Bein wirklich so weit, aber nicht weiter. Macht das Bein diese halbe Schwingung blos getrieben von seiner eigenen Schwere, so braucht es dazu eine bestimmte Zeit, die die Grenze der Schrittdauer beim Gehen ist. Beim

[1]) Die Kinder benutzen bei ihren Spielen diesen Zeitraum des Fliegens dazu, um einen in beiden Händen geschwungenen Reif oder eine Schnur zwischen den Füssen und dem Boden hindurch zu bewegen, und leisten es, wenn auch der Zeitraum, wo beide Beine ausser Berührung mit dem Boden sind, sehr klein ist. Beim Gehen wird dieses nicht gelingen, weil dabei niemals beide Beine den Fussboden zu gleicher Zeit verlassen, sondern im Gegentheile während einer gewissen Zeit beide Beine zugleich auf dem Fussboden aufstehen, so dass der Ring während dieser Zeit zwischen ihnen liegen, und bei seiner schnellen Drehung sehr leicht an das noch aufstehende hintere Bein anschlagen würde.

Laufen braucht nun zwar das Bein zu der nämlichen Bewegung auch die nämliche Zeit. Dennoch aber dauern die Schritte beim Laufen kürzere Zeit als beim Gehen, weil ein Theil der Schwingung, die das Bein zu machen hat, schon während des vorhergehenden Schritts ausgeführt wurde; denn beim Laufen fliegt der Mensch periodisch in der Luft und dabei führen *beide Beine gleichzeitig* einen Theil ihrer Schwingung aus, sowohl das Bein, welches am Ende des gegenwärtigen, als das andere, welches am Ende des nächstfolgenden Schritts aufgesetzt werden soll. Weil nun also dieses letztere Bein beim Beginn des nächstfolgenden Schritts schon einen Theil seiner Schwingungsbahn vollendet hat, und während der ganzen Dauer desselben zu schwingen fortfährt, so ist offenbar die Zeit seines Schwingens grösser, als die Zeit dieses Schritts, und die Schrittdauer ist daher beim Laufen stets kleiner, als beim Gehen und nie grösser, als die halbe Schwingungsdauer des Beins. Beim Gehen schwingen niemals beide Beine zu gleicher Zeit, vielmehr beginnt und endigt ein Bein seine Schwingung während des nämlichen Schritts, den es so eben macht, und steht während des nächsten, vom anderen Beine gemachten Schritts auf dem Fussboden auf. Ein jeder Schritt muss also beim Gehen wenigstens so lange dauern, dass das schreitende Bein seine Schwingung während desselben beginnen und bis zu dem erforderlichen Punkte, wo es wieder auftritt, ausführen kann. Beim langsamen Gehen muss jeder Schritt sogar noch länger dauern; denn hierbei giebt es während jedes Schrittes einen Zeitabschnitt, wo beide Beine auf dem Fussboden zugleich aufstehen, so dass ein Schritt so lange dauert, dass ein Bein während desselben nicht nur seine Schwingung macht, sondern auch noch einige Zeit auf dem Fussboden aufsteht.

Die Erfahrung hat das Gesagte vollkommen bestätigt. Die von uns beim Gehen und Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit angestellten Messungen beweisen, dass man im Mittel beim Laufen etwa noch einmal so grosse Schritte macht, als beim Gehen, und dass sich die Zahl der Schritte beim Gehen und Laufen für gleiche Zeit im Mittel etwa wie 2 zu 3 verhält, und dass man folglich in der nämlichen Zeit ungefähr einen 3 Mal so grossen Raum durch Laufen als durch Gehen zurücklegen kann. Die Geschwindigkeit, die der Mensch hierdurch erhält, ist sehr gross und kann 6—7 Meter in einer Sekunde betragen. Fehlte es ihm nicht an Athem, um diesen geschwindesten Lauf lange genug fortzusetzen, so würde er eine geographische Meile etwa in 18 Minuten zurücklegen. — Durch das Gehen können wir die grösste Strecke Wegs in mässiger Zeit zurücklegen, weil wir es am längsten, ohne zu ermüden und ohne ausser Athem zu kommen, fortsetzen können; durch das Laufen dagegen können wir eine mässige Strecke Wegs in kürzester Zeit zurücklegen.

So wie beim Gehen, so kommen auch beim Laufen die Beine periodisch immer wieder in dieselbe Lage, und es folgen also auch hier gleich lange Zeiträume auf einander, in denen ein und dasselbe Bein die nämlichen Bewegungen immer wiederholt. Beim Gehen bestand jeder solcher Zeitraum aus zwei Schritten (aus einem Doppelschritt), wobei man unter Schritt die Zeit versteht, in welcher die beiden Beine nach einander in vertikale Stellung kommen. Auf gleiche Weise besteht beim Laufen jeder Zeitraum, nach welchem ein und dasselbe Bein immer wieder die nämlichen Bewegungen ausführt, aus zwei Sprüngen oder einem Doppelsprunge.

§ 27.

Eintheilung des Laufs in den Eillauf und Sprunglauf.

Man muss aber wieder zwei Arten des Laufs unterscheiden, nämlich die eine, wo der Körper nur sehr wenig durch die springende Bewegung emporsteigt und fast in einer horizontalen Linie hinfliegt — man kann sie den *Eillauf* nennen —, und eine andere, wo der Körper bei jedem Sprunge viel höher geworfen wird — man kann sie den *Sprunglauf* nennen —. Die letzte Art zu laufen ist aber für das geschwinde Fortkommen weniger vortheilhaft, weil, wenn auch dabei die Schritte eben so gross wie beim Eillauf sind, ihre Dauer doch grösser sein muss, weil der Körper längere Zeit braucht, um wieder herunterzufallen, in dieser Zeit aber kein Aufsetzen des Beins möglich ist, woraus zugleich hervorgeht, dass beim Sprunglaufe ein längerer Zeitraum ohne Beschleunigung des Körpers verfliesst, als beim Eillaufe. Man benutzt ihn daher nur, wenn man durch das Laufen den Körper weniger anzustrengen wünscht, — wenn man ferner sich die Möglichkeit vorbehalten will, den Körper sogleich, wenn es nöthig ist, in seiner Bewegung anzuhalten, und wenn man daher zu vermeiden sucht, denselben in seiner Bewegung so sehr zu beschleunigen, als es beim Eillaufe der Fall ist, — endlich, wenn man beim Laufen bestimmte Stellen des Bodens mit dem Fusse zu berühren beabsichtigt, die aber zu weit von einander entfernt sind, um sie beim Gehen zu erreichen.

Ueber den Eillauf.

§ 28.

Die vertikale Bewegung des Rumpfs beim Eillaufe ist sehr klein.

Es setzt in Verwunderung, wie wenig der Körper beim Eillaufe über den Erdboden abwechselnd sich erhebt und wieder senkt. Man kann diese vertikale Bewegung des Körpers messen, wenn man einen

laufenden Menschen durch ein horizontal aufgestelltes Fernrohr aus der Entfernung beobachtet, und bemerkt, um wie viel ein am unteren Ende des Rumpfs angebrachtes Merkmal seine Lage gegen einen im Fernrohre befindlichen horizontalen Faden verändert. Wir haben gefunden, dass diese Veränderung nur 20 bis 30 Millimeter betrug (etwa $^3/_4$ bis $^5/_4$ Zoll). Dem kann auch nicht anders sein. Denn da die Dauer eines Schritts nach unseren Messungen blos $^1/_4$ bis $^1/_3$ Sekunde beträgt, da ferner der Körper von dieser Zeit höchstens $^1/_{10}$ Sekunde in der Luft schwebt, und selbst von letzterer Zeit wieder nur etwa $^1/_{15}$ Sekunde wirklich fällt, vorher aber noch steigt, so ergeben die Gesetze des freien Falls, dass der Fallraum für diese Zeit wirklich etwa nur 22 Millimeter beträgt. Man sieht hieraus, dass keineswegs etwa darin ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Eillaufe und dem schnellen Gehen besteht, dass bei dem Gehen der Körper in eine geringere vertikale Schwankung gebracht würde; im Gegentheile ist die vertikale Schwankung beim Gehen, zumal wenn wenig Widerstand der Luft vorhanden ist, sogar grösser, als beim Laufen.

Da nun aber die Beine beim Laufen, um dem Körper eine Wurfbewegung zu ertheilen, mit einer viel grösseren Kraft gestreckt werden, als beim Gehen, und diese Kraft desto grösser sein kann, je mehr das Bein in dem Augenblicke, wo es den Körper senkrecht unterstützt, gebogen ist (weil es nämlich dann um ein desto grösseres Stück wieder gestreckt und deswegen der Rumpf länger von ihm beschleunigt werden kann), so befinden sich die Beine, während sie den Körper senkrecht unterstützen, beim Laufen in einer gebogeneren Lage, als beim Gehen, und folglich der Körper in einer geringeren Entfernung vom Fussboden. Es findet aber ausserdem der Unterschied zwischen dem Gehen und Laufen in Bezug auf die dabei Statt findenden vertikalen Bewegungen Statt, dass sich der Körper beim Gehen am höchsten erhebt, während er vom Beine senkrecht unterstützt wird, und während des grössten Theils des Schritts in dieser hohen Stellung bleibt; dass der Körper dagegen beim Laufen in den Augenblicken, wo das Bein senkrecht aufgesetzt wird, sich am tiefsten befindet, und sich während des grössten Theils des Schritts allmählig immer höher erhebt.

§ 29.

Der Zeitraum, wo ein Bein beim Laufe frei in der Luft schwebt, ist grösser, als der Zeitraum, wo es auf dem Boden steht.

Beim Laufen, sowie beim Gehen, geräth jedes Bein abwechselnd in zwei Zustände, in den Zustand, wo es den Fussboden berührt und den übrigen Körper trägt und fortbewegt, und den, wo es den Fuss-

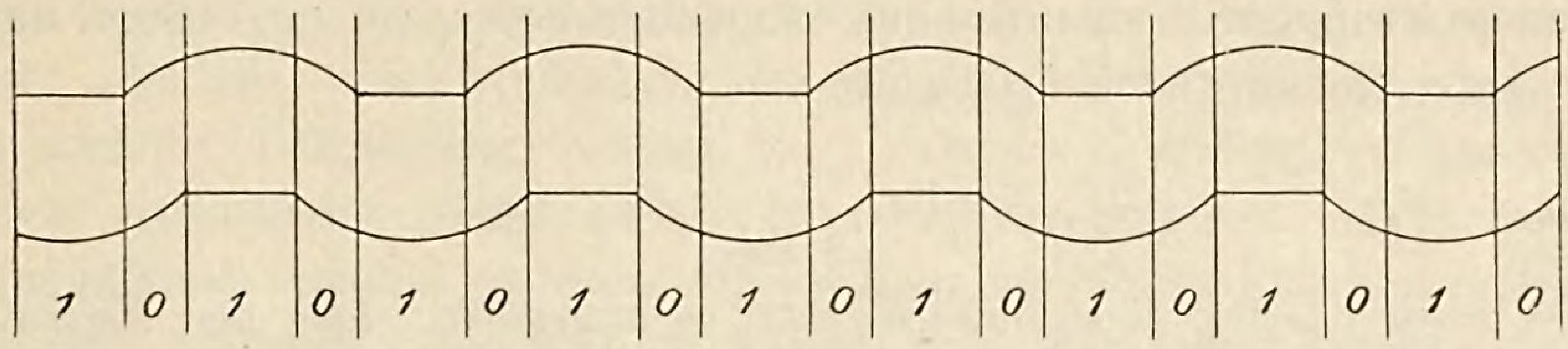
boden nicht berührt, sondern frei schwebt, vom Rumpfe fortgetragen wird und zugleich wie ein Pendel schwingt. Beim Gehen ist der Zeitraum, wo ein Bein den Fussboden berührt und den Körper stützt, länger, als der andere, wo es am Rumpf hängt, und von ihm fortgetragen wird, und nur an der Grenze, wo das Gehen in Laufen übergeht, werden beide Zeiträume gleich lang, so dass dann der Körper gerade so lange vom Fusse, als dieser vom Körper getragen wird. In diesem Grenzfalle des Gehens und Laufens verlässt der hintere Fuss den Boden in dem nämlichen Augenblicke, wo der vordere Fuss auf den Boden aufgesetzt wird, und folglich schwebt und schwingt der eine Fuss genau während derselben Zeit, wo der andere auf dem Boden aufsteht und stemmt. Niemals kann aber beim Gehen der Fall eintreten, dass der eine Fuss länger in der Luft schwebe, als der andere stütze; denn dann würde der andere Fuss den Boden verlassen müssen, bevor der erstere aufgesetzt wäre, der Körper würde also ohne alle Unterstützung der Beine eine Zeitlang in der Luft schweben müssen, was eben das *Merkmal des Laufens* ist. Es leuchtet bei näherer Prüfung als nothwendig ein, dass beim Gehen der Zeitraum, wo beide Beine stehen, zur Schrittdauer hinzugefügt, oder von ihr weggenommen, die beiden Zeiträume giebt, in denen ein und dasselbe Bein abwechselnd *steht* oder *schwebt;* beim Laufen der Zeitraum, wo beide Beine schweben, zu der Schrittdauer hinzugefügt, oder von ihr weggenommen, die beiden Zeiträume giebt, in denen ein und dasselbe Bein abwechselnd *schwebt* oder *steht:* dass folglich beim Laufen der Zeitraum, wo das Bein schwebt, *grösser* ist, als der Zeitraum, wo es auf dem Boden aufsteht.

§ 30.

Beschreibung der Bewegungen, welche die Beine beim Eillaufe machen.

Der Zeitraum, nach welchem die Bewegungen eines und desselben Beins wiederkehren, zerfällt beim Laufen, wie beim Gehen, in zwei Zeitabschnitte, nämlich in den, wo das Bein den Rumpf trägt, und in den, wo es von ihm getragen wird. Aber während beim Gehen der erstere Zeitabschnitt lang und der letztere kurz ist, so ist beim Laufen vielmehr der letztere lang und der erstere kurz. Wir wollen hier den Zeitraum, wo ein Bein am Rumpfe hängend in der Luft schwebt, durch eine bogenförmige, den Zeitraum, wo ein Bein mit dem Boden in Berührung ist, durch eine gerade Linie bezeichnen, und durch die obere Reihe von Zeichen das Verhalten des linken, durch die untere das Verhalten des rechten Beins andeuten. Beide Reihen stellen wir so unter einander, dass das Gleichzeitige vertikal unter einander zu stehen kommt, und geben endlich durch senkrechte Striche die Grenzen der

Zeitabschnitte an, wo der Körper von einem Beine unterstützt wird, und wo das nicht der Fall ist, wo er also fliegt.



Man sieht hier, dass die durch bogenförmige Linien ausgedrückten Zeiträume, in welchen ein Bein am Rumpfe hängend schwebt, beträchtlich länger sind, als die durch gerade Linien ausgedrückten Zeiträume, wo es mit dem Fussboden in Berührung ist, — dass ferner der kleinere Zeitraum, wo das eine Bein mit dem Boden in Berührung ist, symmetrisch in die Mitte des längeren Zeitraums fällt, wo das andere Bein in der Luft schwebt, — dass folglich endlich jeder Schritt in zwei Zeiträume zerfällt, in einen längeren, mit 1 bezeichneten, wo der Körper von dem einen Beine unterstützt wird, und in einen kürzeren, mit 0 bezeichneten, wo er von den Beinen gar nicht unterstützt wird, sondern in der Luft fliegt.

§ 31.

Wenn beim Gehen der Zeitraum verschwindet, wo beide Beine stehen, und beim Laufen derjenige Zeitraum, wo beide Beine fliegen, so ist zwischen Gehen und Laufen gar kein Unterschied wahrzunehmen.

Da das Gehen und Laufen wesentlich dadurch unterschieden sind, dass beim Gehen immer ein Zeitraum, wo ein Bein steht und das andere schwebt, mit einem Zeitraum, wo beide stehen, wechselt, beim Laufen dagegen ein Zeitraum, wo ein Bein steht und das andere schwebt, mit einem Zeitraum, wo beide schweben, wechselt, so war zu erwarten, dass aller Unterschied zwischen Gehen und Laufen hinwegfallen werde, wenn die Zeiträume, wo beide Beine beim Gehen und Laufen relativ stehen und schweben, verschwinden. Wirklich wird diese Erwartung durch die Erfahrung bestätigt. Vergleicht man eine Versuchsreihe über das Gehen, die man so angestellt hat, dass der Zeitraum, wo beide Beine stehen, immer kleiner wurde, und die man so weit fortgesetzt hat, bis dieser Zeitraum ganz verschwand, mit einer anderen über das Laufen gemachten Versuchsreihe, die man so angestellt hat, dass der Zeitraum, wo beide schweben, immer kleiner wurde, und die man so weit fortgesetzt hat, bis auch dieser Zeitraum verschwand, so findet man, dass die letzten Beobachtungen in beiden Reihen in jeder Rücksicht zusammen treffen. In beiden Reihen ergab sich nach unseren Versuchen zuletzt die Schrittdauer zu 0,32 Sekunden, die Schrittlänge zu 0,82 Metern;

hieraus ergiebt sich das interessante Resultat, dass, wenn beim Laufen und beim Gehen die Schritte gerade so lange *dauern*, als eine halbe Pendelschwingung des am Rumpfe hängenden Beins, sie auch beim Laufen wie beim Gehen gleich *lang* sind.

§ 32.

Wird beim Laufen eine Versuchsreihe so angestellt, dass der Zeitraum, wo beide Beine schweben, immer kleiner wird, so kann sie nicht nur so weit fortgesetzt werden, bis dieser Zeitraum ganz verschwindet, sondern noch weiter, wo er dann wieder zunimmt.

Wenn beim Gehen eine Versuchsreihe so angestellt wird, dass der Zeitraum, wo beide Beine stehen, immer kleiner wird, und so weit fortgesetzt wird, bis er ganz verschwindet, so hat man die äusserste Geschwindigkeit beim Gehen erreicht, und es ist unmöglich, die Versuchsreihe weiter fortzusetzen. Anders verhält es sich beim Laufen, wenn man eine ähnliche Versuchsreihe, wie beim Gehen anstellt, so, dass der Zeitraum, wo beide Beine schweben, immer abnimmt, bis er endlich ganz verschwindet: alsdann hat man noch lange nicht die äusserste Grenze der Geschwindigkeit erreicht, zu der man durch Laufen gelangen kann. Die Versuchsreihe hat also noch nicht ihr Ende erreicht, sondern kann noch viel weiter fortgesetzt werden, wo dann aber der Zeitraum, wo beide Beine schweben, wieder zu wachsen beginnt und immer grösser wird. Es geht daraus hervor, dass man eine solche vollständige Versuchsreihe über das Laufen in zwei Abtheilungen scheiden kann, wovon die erste mit der Versuchsreihe über das Gehen vergleichbar ist, die andere nicht.

Hieraus ergiebt sich noch ein anderer Unterschied zwischen Gehen und Laufen, nämlich, dass, während es *beim Gehen* (wenigstens wenn es ganz naturgemäss und unwillkürlich geschieht, z. B. wenn die Aufmerksamkeit des Gehenden vom Gehen ganz abgewendet ist) für jede Schrittdauer nur eine bestimmte Schrittlänge, für jede Schrittlänge nur eine bestimmte Schrittdauer giebt, *beim Laufen* es zwar auch für jede Schrittlänge nur eine bestimmte Schrittdauer giebt, aber nicht umgekehrt, sondern für jede Schrittdauer zwei verschiedene Schrittlängen, welche desto verschiedener sind, je länger der Zeitraum ist, wo beide Beine schweben, und deren Unterschied in dem einzigen Falle verschwindet, wo jener Zeitraum wegfällt. Der Grund dieses merkwürdigen Unterschieds zwischen Gehen und Laufen beruht zuletzt darauf, dass man beim Laufen, wenn die Grösse des Zeitraums gegeben ist, wo beide Beine schweben, die Wahl zwischen zwei Höhen hat, in denen man die Schenkelköpfe über den Fussboden hintragen kann. Denn *einmal* kann

man, wenn jener Zeitraum, wo die Streckkraft nicht wirken kann, von Null an wächst, die Schenkelköpfe allmählig *niedriger* tragen, und dadurch bewirken, dass die Streckkraft in der übrigen Zeit desto stärker wirkt und die Geschwindigkeit des Körpers so vergrössert, dass er während der Schrittdauer weiter fliegt, als die Spannweite[1]) des nach hinten stemmenden Beins selbst bei der verkleinerten Höhe seines Schenkelkopfs reicht, so dass dieses Bein vor dem Ende des Schritts (vor dem Aufsetzen des anderen Beins) vom fliegenden Rumpfe nachgezogen, mit dem anderen Beine zugleich einige Zeit in der Luft schwebt. Das *andere Mal* kann man, wenn jener Zeitraum, wo die Streckkraft nicht wirken kann, von Null an wächst, den Schenkelkopf auch allmählig *höher* tragen, und dadurch bewirken, dass während des Stemmens, wo der Rumpf in die Höhe geworfen wird, das stemmende Bein, vom Rumpfe nachgezogen, früher vom Boden gehoben wird, als die Schrittdauer verflossen ist, oder das andere Bein auftritt. — Beim Gehen findet keine solche Wahl Statt, weil die Geschwindigkeit nie grösser werden darf, als dass der Rumpf während der Schrittdauer die Spannweite des nach hinten stemmenden Beins durchläuft, welche stets der Schrittlänge gleich sein muss.

§ 33.

Beim Laufen kann man die Dauer der Schritte weniger, die Länge der Schritte dagegen mehr, als beim Gehen verändern.

Beim Gehen sowohl, wie beim Laufen, zerfällt die Dauer eines Schritts in zwei Abschnitte, deren einer beim Gehen sowohl, wie beim Laufen, die Zeit umfasst, wo der Rumpf von einem Beine gestützt wird, der andere aber beim Gehen die Zeit umfasst, wo der Rumpf von *beiden* Beinen *gestützt* wird, beim Laufen dagegen die Zeit, wo der ganze Körper frei in der Luft *fliegt*. Diese beiden Zeitabschnitte, welche sich zur Schrittdauer ergänzen, nehmen beim Gehen *zugleich* zu, und nehmen *zugleich* ab, so dass die Abnahme oder Zunahme der ganzen Schrittdauer der *Summe* der Abnahme oder Zunahme jener beiden Zeitabschnitte gleich ist; beim Laufen dagegen wächst der eine Zeitabschnitt, wenn der andere abnimmt, so dass die Abnahme oder Zunahme der ganzen Schrittdauer nur der *Differenz* der beiden Zeiträume gleicht, um welche der eine Zeitabschnitt kleiner, der andere grösser geworden ist. Beim Gehen nämlich wächst die Zeit, wo beide Beine stehen, mit dem Stücke, um welches das schwingende Bein die Vertikale

[1]) Unter Spannweite eines Beins bei gegebener Höhe seines Schenkelkopfs verstehen wir die horizontale Kathete eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen vertikale Kathete die Höhe des Schenkelkopfs, und dessen Hypotenuse die Länge des gestreckten Beins ist.

überschreitet, ehe es auftritt (siehe § 22). Je weiter aber das Bein in seiner Schwingungsbahn sich bewegt, ehe es auftritt, desto länger schwingt es, desto länger ist auch der Zeitraum, wo blos das andere Bein den Rumpf stützt; daher beide Zeiträume stets zusammen wachsen. — Beim Laufen dagegen ergänzen sich die ganze Schrittdauer und derjenige Abschnitt, in welchem der ganze Körper frei in der Luft fliegt, zu einer immer gleichen Grösse (zur Hälfte der Schwingungsdauer des frei pendulirenden Beins — siehe § 29). Nimmt also letzterer Abschnitt an Länge zu, so nimmt die ganze Schrittdauer ab, und um so mehr derjenige Theil der Schrittdauer, wo das eine Bein aufsteht, welcher die Differenz der kleiner gewordenen Schrittdauer und des grösser gewordenen Abschnitts ist.

§ 34.

Beim Laufen kommen geringere Abweichungen vom normalen Laufe, als beim Gehen vom normalen Gange vor.

Wir verstehen unter dem normalen Gange oder Laufe denjenigen, wo man mit der geringsten Muskelkraft den Zweck einer möglichst gleichmässigen, von der horizontalen Richtung wenig abweichenden Bewegung erreicht. Während des Gehens und Laufens kommen nun Zeitabschnitte vor, wo man durch die Muskelkräfte die normale Bewegung des Körpers etwas abändern kann, und dessen ungeachtet den Zweck des Gehens erreicht, nur mit etwas vermehrter Anstrengung. Eine solche Abänderung der Bewegung kann beim Laufen nie in der Zeit, wo der ganze Körper frei in der Luft fliegt, eintreten, und nur in sehr geringem Maasse in der Zeit, wo ein Bein aufsteht, weil die Wurfbewegung bestimmt ist, welche in dieser Zeit dem Rumpfe durch die Streckkraft des Beins ertheilt werden muss. Beim Laufen findet sich daher keine Zeit, wo wir sehr willkürlich die Bewegung abändern könnten oder dürften. — Beim Gehen dagegen muss zwar in der Zeit, wo ein Bein aufsteht, die Streckkraft dieses einen Beins die Bedingung erfüllen, dass der Körper nicht falle, und seine Wirksamkeit ist dadurch in dieser Zeit in enge Grenzen eingeschlossen, und unserer Willkür ist daher in dieser Zeit auch beim Gehen wenig Raum gelassen; desto mehr ist dagegen unserer Willkür überlassen in der Zeit, wo beide Beine stehen, wo durch die Streckkraft beider Beine die Bedingung des Nichtfallens auf unzählige verschiedene Weisen sich erreichen lässt, wovon zwar nur eine mit der geringsten Muskelanstrengung verbunden ist, jedoch durch die anderen, mit etwas gesteigerter Muskelkraft, der Zweck des Gehens auch erreicht wird. Je länger daher beim Gehen der Zeitraum ist, wo beide Beine stehen, desto mehr Willkür tritt beim

Gehen ein, was auch wirklich beim Langsamgehen beobachtet wird. Beim Schnellgehen, wo jener Zeitraum kurz ist und ganz verschwinden kann, findet sich in der That weit weniger Willkür in unseren Bewegungen, — beim Laufen die wenigste. Wir erklären daraus, warum es leichter ist, die Truppen im Gehen so einzuüben, dass alle Soldaten Schritte von gleicher Länge und Dauer machen, weit schwerer dagegen im Laufen. Dies würde nicht der Fall sein, wenn alle Soldaten vollkommen gleich lange Beine und gleiche Schwingungsdauer der Beine hätten. Ist dies aber nicht der Fall, so ist es nöthig, dass sie sich wechselseitig in ihrer Schrittlänge und Schrittdauer accommodiren. Diese Accommodation ist nicht immer möglich, und wo sie möglich ist, ist sie bald leichter, bald schwerer. Sie ist am leichtesten beim langsamen Gange, wo jeder Soldat am meisten von seiner normalen Schrittdauer abweichen kann, ohne die Schrittlänge zu verändern; sie wird beim schnellen Gehen viel schwerer, und ist den grössten Soldaten unmöglich, wenn die kleinsten im schnellsten Tempo gehen: daher die Regel für den geschwindesten Schritt (den Sturmschritt): dass das Tempo dazu nach dem schnellsten Schritte der Soldaten, die die *längsten Beine* haben, gewählt werden muss. Beim Laufen ist jene Accommodation bei sehr verschiedener Länge der Beine ganz unmöglich, mit Ausnahme des Falls, wo das Tempo der halben Schwingungsdauer der kleinsten Beine nahe gleich genommen wird; denn dann vermindern die grösseren Soldaten schon nach den Regeln des normalen Laufs, indem sie ihre Schrittdauer verhältnissmässig verkleinern, auch ihre Schrittlänge. Daher die Regel für das Laufen von Menschen von verschiedener Grösse nach gleichem Tempo und in gleichen Schritten, dass die Zahl der Schritte in gegebener Zeit und ihre Länge so zu wählen sei, dass sie die Zahl und Länge der Schritte der kleinsten Personen beim schnellsten Gehen wenig übersteige.

Der einzige Vortheil, der durch streng geregelten Lauf der Truppen im Vergleich zum schnellsten Sturmschritt erreicht werden kann, ist gering, und besteht blos darin, dass die Schwerfälligkeit, die bei geschwinden Bewegungen das Auftreten mit der Ferse mit sich führt, vermieden wird, weil man beim Laufen gewöhnlich blos mit dem Ballen auftritt. Viel grössere Vortheile gewährt das Laufen, sobald es ohne vorgeschriebenes Tempo geschieht; denn dann lässt es sich mit viel grösserer und doch gleicher Geschwindigkeit ausführen. Soldaten werden es daher sehr leicht erlernen, ohne grosse Anstrengung und sehr geschwind in Linie zu laufen, wenn man dabei Jedem gestattet, so viel Schritte zu machen, als ihm bequem ist, und von ihm nur fordert, mittelst des Augenmaasses oder der Fühlung Linie zu halten. Das mit der Trommel angegebene Tempo, wenn darnach beim Laufen die Zahl

der Schritte eingerichtet werden soll, kann nicht dazu dienen, die Ordnung der Laufenden zu erhalten, vielmehr muss es nach unabänderlichen Naturgesetzen diese Ordnung erschweren und stören.

Ueber den Sprunglauf.

§ 35.

Der Sprunglauf unterscheidet sich vom Eillaufe dadurch, dass er grössere Schritte, als beim Gehen möglich sind, langsam zu machen gestattet.

Vom Eillaufe unterscheiden wir den Sprunglauf, den man bisweilen mit dem Eillaufe abwechseln lässt, um der Athemlosigkeit und der Heftigkeit des Herzschlags vorzubeugen, welche der schnelle Wechsel der Bewegungen beim Eillaufe mit sich führt, ohne dabei aus der laufenden Bewegung zu kommen. Wir können ein schnelles Laufen keineswegs darum nicht lange fortsetzen, weil die damit verbundene Anstrengung zu gross würde, sondern gewöhnlich darum, weil wir den Athem verlieren oder der Herzschlag zu heftig wird. Beides hat seinen Grund in dem schnellen Wechsel der Bewegungen, welche die beiden Beine beim schnellen Laufe machen müssen (etwa 4 Schritte in 1 Sekunde). Der Sprunglauf unterscheidet sich vom Eillaufe in der Dauer der Schritte, die viel grösser ist, als sie beim Eillaufe werden kann. Darum ist es vortheilhafter, um Athem zu schöpfen und den Herzschlag zu mässigen, aus dem Eillaufe in den Sprunglauf überzugehen, als etwa das Laufen selbst blos in der Geschwindigkeit zu mässigen, weil auch dann noch der Wechsel der Bewegungen der beiden Beine fast ebenso schnell wie früher bleibt (über 3 Schritte in 1 Sekunde).

Ausserdem kann es Fälle geben, wo man grosse Schritte zu machen wünscht, aber keine grosse Eile hat, sondern lieber langsamer fortzukommen wünscht, wenn man sich dabei weniger anzustrengen braucht. Es kann ferner Fälle geben, wo man durch die Beschaffenheit des Wegs zu grossen Schritten genöthigt wird, wo es aber gefährlich sein würde, sie so schnell als im Eillaufe zu machen, weil dann wegen der grossen Geschwindigkeit des ganzen Körpers die Summe der lebendigen Kräfte so gross wäre, dass im Augenblicke der Gefahr sogleich keine Abhülfe getroffen werden könnte. So ist es zum Beispiel viel weniger gefährlich, sich im Sprunglaufe bergabwärts zu bewegen, als im Eillaufe.

§ 36.

Beim Eillaufe stemmt man das Bein bei jedem Schritte das erste Mal, wo es in die vertikale Lage kommt, gegen den Fussboden; beim Sprunglaufe das zweite Mal, wo es in diese Lage kommt.

Beim Laufen wird der Körper in die Höhe geworfen und fällt darauf, während beide Beine in der Luft schwingen, wieder herab. Um diese fallende Bewegung des ganzen Körpers aufzuheben und ihm eine neue Wurfbewegung aufwärts zu ertheilen, wird ein Bein am Ende der Fallzeit (welches in den Augenblick trifft, wo das Bein seine Schwingung halb vollendet hat und senkrecht hängt) *senkrecht* gegen den Boden gestemmt. Damit aber das Bein am Ende der Fallzeit *senkrecht* gegen den Boden gestemmt werden könne, ist es nicht *nothwendig*, dass vom Beginn seiner Schwingung seine *halbe* Schwingungsdauer verflossen sei, wo das Bein zum *ersten Mal* zur vertikalen Lage gelangt; sondern, da das schwingende Bein (wenn es in seiner Schwingung ungehindert fortfährt) mehrmals zur vertikalen Lage zurückkehrt, so kann das Bein das *zweite Mal* aufgesetzt werden, wo es zur vertikalen Lage gelangt (welches bei ungehemmter Schwingung der Fall sein würde, wenn es eine ganze Schwingung von hinten nach vorn und eine halbe zurück gemacht hat). Alsdann, sieht man leicht ein, müsste die Dauer der Schritte weit grösser sein, als beim Eillaufe, wo das Bein gleich das erste Mal, wo es zur vertikalen Lage gelangt, senkrecht gegen den Boden gestemmt wird. Dies ist das Mittel, wodurch der Hauptzweck des Sprunglaufs, nämlich eine grössere Schrittdauer, als beim Eillaufe möglich ist, erreicht wird. Mit dieser grösseren Schrittdauer ist ein längeres Schweben des Körpers in der Luft von selbst verbunden. Wir können daher vom Eillaufe und Sprunglaufe den Unterschied aussprechen, der Körper schwebe zwar bei beiden abwechselnd frei in der Luft, beim Eillaufe schwebe er aber kürzere Zeit, beim Sprunglaufe längere Zeit.

§ 37.

Die Beine schwingen beim Sprunglaufe blos von hinten nach vorn und nicht wieder zurück. Nachdem das Bein seine ganze Schwingung von hinten nach vorn vollendet hat, wird es auf den Boden gesetzt und zum Stemmen gegen den Boden der Augenblick abgewartet, wo der sich fortbewegende Schenkelkopf senkrecht über dem aufgesetzten Fusse zu liegen kommt.

Zur vollständigen Kenntniss des Sprunglaufs ist zu bemerken nöthig, dass das Bein, nachdem es seine Schwingung von hinten nach vorn

vollendet hat, nicht wieder die halbe Schwingungsbahn rückwärts zu durchlaufen braucht, um am Ende der Fallzeit senkrecht gegen den Boden gestemmt zu werden, sondern auch ohnedem ein *zweites Mal* in die vertikale Lage kommt, wenn sein Fuss am Ende seiner Schwingung gehemmt und festgehalten wird, während der Rumpf mit dem oberen Theile des Beins sich weiter fortbewegt. Darf man nun einerseits, dem gemeinsamen Zwecke des Eillaufs und des springenden Laufs gemäss (welcher in der Uebergehung einer möglichst langen Strecke Wegs ohne Berührung desselben besteht), *keine Rückschwingung* des vorangeeilten Beins gestatten und darf man andererseits das Bein erst, wenn es die *vertikale Lage* erhalten hat, gegen den Boden *stemmen*, so sieht man leicht ein, dass beide Forderungen nur auf *eine* Weise erfüllt werden können, nämlich, wenn man das Bein in seiner weitesten Exkursion den Boden zwar *berühren* lässt und dadurch in seiner horizontalen Bewegung hemmt, jedoch damit nicht gleich gegen den Boden *stemmt*, sondern so lange *wartet*, bis der Schenkelkopf des Beins in seiner fliegenden Bewegung senkrecht über dem ruhenden Fusse anlangt, und erst in diesem Augenblicke das Bein gegen den Boden stemmt. Da vor diesem Augenblicke zwar eine Berührung, aber keine Stemmung des Beins gegen den Boden Statt fand, so musste bis zu diesem Augenblicke der übrige Körper sich gerade so noch fortbewegen, als wenn er bis dahin frei in der Luft geschwebt hätte. Wir können also zwischen Eillauf und Sprunglauf noch den Unterschied aussprechen, dass beim Eillaufe der Augenblick des Auftretens und der des Stemmens des Beins gegen den Boden immer der nämliche ist, dass sie dagegen beim Sprunglauf verschieden sind, weil man hier den Boden schon früher berührt, als man gegen ihn stemmt.

§ 38.

Der Zeitraum, nach welchem ein und dasselbe Bein alle seine Bewegungen in gleicher Folge wiederholt, ist auch beim Sprunglaufe der doppelten Schrittdauer gleich, und es zerfällt dieser Zeitraum in drei Abschnitte, von denen der erste, wo das Bein frei in der Luft schwingt, der grösste ist (grösser als die beiden anderen zusammen genommen) und der Schwingungsdauer des Beins gleicht, — die beiden anderen, wo das Bein den Fussboden entweder blos berührt, oder gegen ihn stemmt, viel kleiner und einander fast gleich sind.

Weil das Bein beim Sprunglaufe längere Zeit schwingen soll, ist es nöthig, dass der Körper eine grössere Wurfbewegung als beim Eillaufe erhalte und sich daher einige Zeit höher vom Fussboden erhebe.

In dieser Zeit, wo der Körper hoch über dem Fussboden erhoben ist, kann kein Bein gegen den Fussboden gestemmt, auch nicht einmal mit demselben in Berührung gebracht werden. In dieser Zeit schwingen also beide Beine frei in der Luft. Dieser Zeitraum nun, wo beide Beine frei in der Luft schwingen, zur Schrittdauer hinzugefügt oder von ihr hinweggenommen, giebt (auf ähnliche Weise wie beim Laufen nach § 29) den *einen* Zeitabschnitt, wo ein und dasselbe Bein frei in der Luft schwingt, oder die *Summe* der *beiden anderen* Zeitabschnitte (wo das Bein den Boden blos berührt, und wo es gegen den Boden stemmt), woraus hervorgeht, dass die Schrittdauer *kleiner* ist, als jener *zuerst genannte,* grösser aber als die *Summe* der beiden anderen Abschnitte, folglich, dass jener Zeitraum, wo ein und dasselbe Bein in der Luft schwingt, um so mehr grösser ist, als die Summe dieser beiden Zeiträume, in deren einem das Bein den Boden blos berührt, in deren anderem es gegen den Boden stemmt.

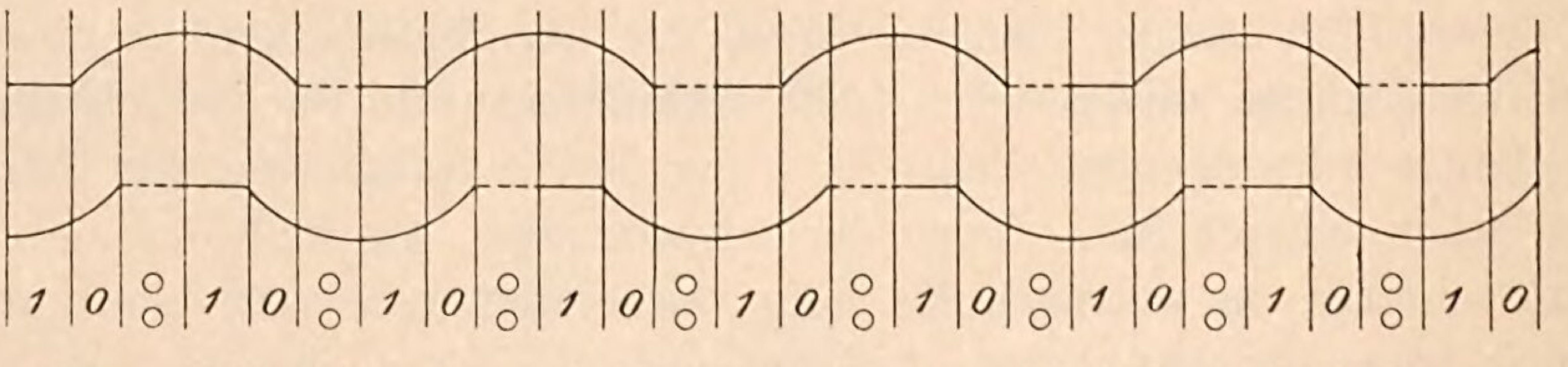
Jener grosse Zeitabschnitt, in welchem das Bein frei in der Luft schwingt, hat immer dieselbe Dauer, denn das Bein macht in dieser Zeit (nach § 37) gerade eine ganze Schwingung, wozu die ganze Schwingungsdauer des Beins (beiläufig 0,7 Sekunde) erfordert wird, weil das Bein nach dem vorigen Paragraphen in dem Augenblicke mit dem Boden in Berührung gebracht wird, wo es, von hinten nach vorn schwingend, vorn seine grösste Exkursionsweite erreicht.

Liegt der Schenkelkopf des betrachteten Beins senkrecht über seinem Fusse, so beginnt der *erste* Zeitabschnitt eines Doppelschritts, wo dieses Bein stemmt, und der Weg, den der Schenkelkopf in diesem *ersten* Abschnitte zurücklegt, ist die Exkursionsweite des im folgenden Abschnitte schwingenden Beins (d. i. der Horizontalabstand des Fusses vom Schenkelkopfe im Anfange der Schwingung). Am Ende des *zweiten* Zeitabschnitts, in welchem das Bein von hinten nach vorn eine ganze Schwingung gemacht hatte, befindet sich der Fuss eben so weit vor dem Schenkelkopfe, als er im Anfange hinter demselben lag. Während des *dritten* Zeitabschnitts endlich, wo das ausgeschwungene Bein den Boden blos berührt, muss daher der Schenkelkopf (um wieder, wie zu Anfang des Doppelschritts, in seine Lage senkrecht über dem Fusse zu gelangen) gerade denselben Weg, nämlich die Exkursionsweite des im vorigen Abschnitte schwingenden Beins (d. i. den Horizontalabstand des Schenkelkopfs vom Fusse zu Ende der Schwingung) wie im *ersten* Abschnitte zurücklegen, und weil die Geschwindigkeit des Schenkelkopfs (und des ganzen Rumpfs) bei dieser schnellen progressiven Bewegung wenig variirt, wird dazu fast gleiche Zeit erfordert, oder der *erste* und *dritte* Zeitabschnitt sind fast von gleicher Länge.

§ 39.

Bewegungen der beiden Beine, welche während eines Schritts zugleich geschehen.

Zur Uebersicht der Bewegungen beider Beine und der Art, wie sie sich mit einander verbinden, wollen wir die Bewegungen *jedes* Beins nach den drei Zeitabschnitten eines Doppelschritts darstellen, in welchen das Verhalten des Beins wesentlich verschieden ist. Den *ersten* Zeitabschnitt, wo das Bein stemmt, stellen wir durch eine gerade Linie dar, den *zweiten*, wo das Bein schwingt, durch eine bogenförmige Linie, den *dritten* endlich, wo das Bein den Boden, ohne zu stemmen, blos berührt, durch eine punktirte Linie. Diese Abbildungen der Bewegungen beider Beine stellen wir so untereinander, dass das Gleichzeitige vertikal untereinander liegt. Ziehen wir alsdann durch alle Anfangspunkte der drei bei beiden Beinen unterschiedenen Zeitabschnitte Vertikallinien, so sehen wir, dass dadurch der Zeitraum eines *einfachen* Schritts (wo die Stellungen des linken und des rechten Beins mit einander wechseln) ebenfalls in drei Abschnitte getheilt wird, nämlich in den *ersten*, wo ein Bein *stemmt*, das andere frei in der Luft schwingt (welchen wir mit 1 bezeichnet haben), in den *zweiten*, wo beide Beine frei in der Luft schwingen (welchen wir mit 0 bezeichnet haben), und in den *dritten*, wo das eine Bein frei in der Luft schwingt, das andere aber, ohne zu stemmen, den Boden *berührt* (welchen wir mit $\genfrac{}{}{0pt}{}{\circ}{\circ}$ bezeichnet haben).



Man sieht hier, dass der Zeitraum, wo ein Bein schwingt, grösser ist, als die Summe der beiden Zeiträume, wo es gegen den Boden stemmt, und wo es ohne zu stemmen den Boden berührt, — dass ferner diese beiden letzteren (gleichen) Zeiträume, wo das eine Bein zuerst den Boden blos berührt, sodann stemmt, symmetrisch in die Mitte des längeren Zeitraums fallen, wo das andere Bein frei in der Luft schwingt.

§ 40.

Der Sprunglauf verhält sich zum Eillaufe, wie der gravitätische Schritt zum Eilschritte.

Der wesentliche Unterschied zwischen dem gravitätischen Schritte und dem Eilschritte bestand darin, dass das schwingende Bein beim

gravitätischen Schritte seine Schwingung fast vollendete, ehe es auf den Boden gesetzt wurde, und daher in diesem Augenblicke mit der Vertikalen einen noch grösseren Winkel machte, als das hintere Bein. Eben dadurch unterscheidet sich der Sprunglauf vom Eillaufe, und zwar auf eine noch auffallendere Weise, weil beim Sprunglaufe das schwingende Bein seine Schwingung ganz vollendet, ehe es auf den Boden gesetzt wird, und daher in diesem Augenblicke mit der Vertikalen den grössten Winkel macht, den es machen kann; beim Eillaufe dagegen tritt das Bein stets senkrecht auf, wo also dieser Winkel Null ist. — Beim Sprunglaufe wird ferner, eben so wie beim gravitätischen Schritte, der Fuss eher mit dem Boden in Berührung gebracht, als er gegen den Boden stemmen soll, und man pflegt bei beiden den Boden zuerst mit einer Stelle des Fusses zu berühren, welche der Fussspitze näher liegt, als diejenige, die nachher stemmt. — Endlich ist die Schrittdauer beim Sprunglaufe grösser als beim Eillaufe, so wie sie beim gravitätischen Schritte grösser als beim Eilschritte ist.

Zweiter Theil.

Anatomische Untersuchung der Gehwerkzeuge.

Erster Abschnitt.

Allgemeine Uebersicht von der gegenseitigen Lage und Verbindung aller Theile des Skelets.

§ 41.

Zusammenhang der Hauptheile des Skelets.

Um die Einrichtung des menschlichen Körpers in Beziehung auf das Gehen und Laufen zu betrachten, und das hierbei Wichtigere von dem Unwichtigeren zu scheiden, theilen wir den Körper in den zu tragenden Theil, der aus dem Kopfe, dem Rumpfe und den Armen besteht, und in die tragenden Stützen, die Beine. Beide Abtheilungen sieht man Taf. I in ihrer Verbindung mit einander, wo die knöcherne Grundlage oder das Skelet des ganzen menschlichen Körpers in seitlicher Ansicht abgebildet ist. An diese Abbildung, welche mit Ausnahme einer Berichtigung der Lage des Beckens und der Gestalt der Wirbelsäule eine Kopie der von Albin in den *Tabulis sceleti et musculorum corporis humani* gegebenen Abbildung ist,[1]) werden wir uns bei Betrachtung jener Hauptabtheilungen halten. Der Stamm der ersten Abtheilung ist der Rumpf, und die Grundlage des ganzen Rumpfs ist wiederum das Rückgrat oder die Wirbelsäule, die aus 7 Halswirbeln, 12 Rückenwirbeln und 5 Lendenwirbeln (die in der Abbildung mit Zahlen bezeichnet sind), dem Kreuzbeine *S* und dem Schwanzbeine *Co* besteht. Oben auf der Wirbelsäule ruht der Kopf; seitwärts an dieselbe befestigen sich auf jeder Seite 12 Rippen, welche zusammen mit dem Brustbeine *St* den Brustkasten bilden, an welchem selbst wieder die beiden oberen Gliedmaassen oder die Arme hängen; unten an sie befestigen sich die beiden Beckenknochen *P* und bilden mit dem Kreuzbeine und Schwanzbeine zusammen das Becken, mittelst dessen der ganze Rumpf auf seinen beiden Stützen, den Beinen, ruht. Mit dem Kreuzbeine sind nämlich auf beiden Seiten die beiden Beckenknochen durch starke Faserknorpellagen und Bänder äusserst fest und unbeweg-

[1]) Wegen Beschränktheit des Raums ist in dieser Kopie eine unwesentliche Aenderung in der Lage des linken Arms gemacht worden, welcher im Originale horizontal ausgestreckt ist. [Diese Kopie ist in der gegenwärtigen Ausgabe im Verhältniss 2 : 3 verkleinert worden.]

lich verwachsen und bilden, indem sie nach vorn selbst wieder unter einander verwachsen sind, mit dem Kreuzbeine zusammen einen knöchernen Ring, *den Beckenring.* Man erkennt diese ringförmige Gestalt des Beckens deutlich, wenn man die Vorsprünge und Fortsätze, welche nach oben und nach unten von den Rändern des Rings ausgehen, hinwegsägt: z. B. wenn man Taf. XVII, Fig. 17, wo beide Darmbeine am oberen Rande des Beckenrings weggenommen sind, oder Fig. 18, wo diese Fortsätze nur auf einer Seite abgesägt, auf der anderen Seite aber gelassen worden sind, so dass man zugleich die Form des ganzen Beckens erkennt, mit dem Ringe Fig. 19 vergleicht. Durch diesen Ring gehen der Mastdarm, die Harn- und Geschlechtswege hindurch, durch ihn hindurch bewegt sich auch das Kind bei der Geburt. Der von diesem Ringe eingefasste Raum ist nach beiden Seiten hin offen und wird erst unterhalb durch einen muskulösen Boden, welcher von jenen Kanälen durchbohrt wird, geschlossen, wodurch dieser Raum die Gestalt erhält, von der er den Namen des Beckens trägt.

Auf jeder Seite dieses Rings befindet sich eine kugelförmige Vertiefung, die Pfanne oder das *acetabulum*, durch welche der Rumpf auf den Beinen ruht. An dem unverletzten Skelete Taf. I ist diese Pfanne durch den halb in ihr, halb ausser ihr liegenden Schenkelkopf *C* verdeckt. Taf. II sieht man das Becken mit den oberen Theilen der Schenkelbeine vom übrigen Rumpfe getrennt, in der Ansicht von vorne, gleichfalls in aufrechter Stellung. Der vordere Theil desselben ist durch einen durch beide Pfannen geführten senkrechten Schnitt hinweggenommen, so dass die Pfannen und Schenkelköpfe im Durchschnitte erscheinen und man eine deutliche Vorstellung erhält, wie das Becken und durch dasselbe der ganze Rumpf zwischen den beiden Schenkelköpfen festgehalten wird und auf ihnen ruht. So wie eine cylindrische Tasse, welche man zwischen zwei Fingern hält, sich nur um eine durch beide Fingerspitzen gehende Axe drehen kann, so kann auch das ringförmig gestaltete Becken, wenn die beiden Schenkelköpfe, zwischen denen es festgehalten wird, feststehen, sich nur um die Axe drehen, welche durch beide Schenkelköpfe geht. Um das Becken um diese durch die Mitte beider Pfannen gehende Axe vorwärts oder rückwärts zu drehen, sind theils am oberen, theils am unteren Rande seines Rings Vorsprünge und Fortsätze angebracht, an welchen hinten und vorne Muskeln, die zum Schenkel gehen, wie an einer Kurbel, ziehen. Verkürzt sich z. B. der *musculus rectus femoris,* welcher *vorne* Fig. 18, *a* und *b* verbindet, so muss sich das Becken nach vorn um seine Axe drehen, wodurch sich der Rumpf vorwärts neigt; verkürzt sich dagegen der *musculus semitendinosus* oder *semimembranosus*, welche beide *hinten* *c* und *d* verbinden, so muss sich das Becken um seine Axe wieder zurück-

drehen, wodurch sich der geneigte Rumpf wieder senkrecht aufrichtet. Wenn der Rumpf senkrecht steht, so steht der Beckenring nicht eben so, sondern geneigt. Diese geneigte Lage des Beckenrings hat schon früher die Aufmerksamkeit der Anatomen und Geburtshelfer gefesselt, weil sie für die von diesem Ringe eingeschlossenen Organe von Wichtigkeit ist, ist aber lange Zeit unrichtig bestimmt worden. Wir werden in der Folge die Mittel angeben, durch welche wir zu einer genauen Bestimmung dieser Lage gelangt sind.

§ 42.

Zusammensetzung und Beugsamkeit der Wirbelsäule.

Auf dem unteren unbeugsamen Theile der Wirbelsäule, nämlich dem mit dem Beckenringe fest verwachsenen Kreuzbeine, erhebt sich der obere beugsame Theil der Wirbelsäule, welcher häufig auch allein mit dem Namen der Wirbelsäule bezeichnet wird und den ganzen übrigen oberen Theil des Körpers hält. Diese Abtheilung der Wirbelsäule ist zusammengesetzt aus 24 knöchernen Ringen oder Wirbeln und 23 Faserknorpelscheiben oder Zwischenwirbelknorpeln, welche zwischen allen Wirbeln (ausser zwischen dem ersten und zweiten) und zwischen dem letzten Wirbel und dem Kreuzbeine eingeschoben sind. Von diesen Zwischenwirbelknorpeln hängt vorzugsweise die Schlangenform, so wie die Beugsamkeit der Wirbelsäule ab.

Taf. I sieht man die Wirbelsäule von der Seite in ihrem Zusammenhange mit dem übrigen Skelete, insoweit sie nicht durch die Brustglieder und durch das Becken verdeckt ist. Jeder Wirbel, mit Ausnahme des obersten, besteht aus zwei Theilen, einem vorderen dickeren, dem *Wirbelkörper*, und einem hinteren dünneren, dem *Wirbelbogen*, welcher seitlich und hinten mehrere Fortsätze hat, an welchen sich Muskeln befestigen, um daran, wie an Handhaben, zu ziehen und die Wirbel gegen einander zu beugen. Zwischen den Wirbelkörpern liegen die ihnen an Breite und Dicke gleichen Wirbelknorpel und sind mit ihnen fest verwachsen. Die Wirbelbögen dagegen sind durch Gelenke mit einander verbunden. Erstere bilden den Stamm der Wirbelsäule, letztere einen daneben in die Höhe steigenden Kanal, in welchem das Rückenmark aufgehängt ist. — An die Wirbelsäule schliessen sich die Rippen an, welche paarweise mit den einzelnen Wirbeln verwachsen sind, und bilden mit derselben und mit dem Brustbeine die Brusthöhle. Aber nicht alle jene 24 Wirbel, sondern nur 12 tragen Rippen; die übrigen 12 liegen theils über, theils unter den Rippen tragenden Wirbeln und nehmen daher an der Bildung der Brusthöhle keinen Theil. Es zer-

fallen demnach die Wirbel in drei Klassen: in die *Rückenwirbel*, welche Rippen tragen und an der Bildung der Brusthöhle Theil nehmen, in die *Halswirbel*, welche über der Brusthöhle liegen, und in die *Lendenwirbel*, welche unter derselben liegen. Auf gleiche Weise zerfallen die Wirbelknorpel in *Rückenwirbelknorpel*, welche innerhalb der Brusthöhle liegen, in *Halswirbelknorpel*, welche ausserhalb der Brusthöhle, und zwar darüber liegen, und in *Lendenwirbelknorpel*, welche auch ausserhalb, aber darunter liegen. Der Wirbelknorpel, welcher zwischen dem letzten Hals- und ersten Rückenwirbel, und der, welcher zwischen dem letzten Rücken- und ersten Lendenwirbel liegt, liegen ausserhalb der Brusthöhle und gehören daher ersterer zu den Hals-, letzterer zu den Lendenwirbelknorpeln.

Eine richtige und deutliche Vorstellung von der Gestalt der ganzen Wirbelsäule und der relativen Lage aller ihrer Theile erhält man durch die Abbildung Taf. VIII. Sie ist der Abdruck der Durchschnittsfläche einer Wirbelsäule, welche durch einen senkrechten Schnitt von vorn nach hinten in zwei gleiche Hälften zerlegt worden ist. Bei einer solchen Durchschneidung der Wirbelsäule ändert sich gewöhnlich die Gestalt derselben ab, weil dadurch das Gleichgewicht ihrer Bänder aufgehoben wird und die Zwischenwirbelknorpel auf der Schnittfläche hervorquellen, was beides eine Verstellung der einzelnen Wirbel gegen einander zur Folge hat. Diesen Uebelstand haben wir dadurch vermieden, dass wir den Rumpf des Leichnams, an welchem wir die Eingeweide und die Muskeln nur so weit als es nothwendig war, entfernt hatten, *ohne die Bänder des Rückgrats und des Thorax zu verletzen*, in Gyps eingossen und dann den Gypsblock sammt der Wirbelsäule in der erwähnten Ebene durchsägten. Da die Wirbelsäule mit ihren Unebenheiten und Fortsätzen in dem erhärteten Gypse fest sass, so konnten die Wirbel sich auch nach der Durchsägung nicht mehr gegen einander verrücken. Die auf diese Weise erhaltene Ansicht der Wirbelsäule verschafft uns daher nicht blos eine richtige Vorstellung von der Form und Krümmung der Wirbelsäule *im Ganzen*, sondern auch von der Lage der *einzelnen* Wirbel zu einander, so wie von dem Winkel, unter welchem sich die Wirbelsäule an das Becken anschliesst. Sie giebt uns endlich auch eine richtige Ansicht von der Höhe der sämmtlichen Zwischenwirbelknorpel, welche beim unverletzten Skelete die im Abdrucke zwischen den Wirbelkörpern leer gebliebenen Räume erfüllen. Die Schnittfläche einer so halbirten Wirbelsäule haben wir stereotypiren und diese Stereotype auf Taf. VIII abdrucken lassen. Wir glauben, dass diese Methode der Darstellung der Wirbelsäule, welche so naturgetreu ist, dass sie das wirkliche Präparat ersetzt, besonders darum Werth habe und Aufmerksamkeit verdiene, weil es bis jetzt an einer

richtigen naturgetreuen Darstellung der Wirbelsäule ganz gefehlt hat, und selbst die sonst mit Recht gepriesene ALBIN'sche Abbildung des menschlichen Skelets in dieser Beziehung unrichtig ist. Taf. I haben wir die Neigung des Beckens, welche ALBIN zu klein darstellt, um so viel vergrössert, als nothwendig war, um diese Abbildung wenigstens mit den *geringeren* in der Natur vorkommenden Neigungen in Uebereinstimmung zu bringen. Die Linie *ab* am Becken hat im Originale die Lage $\alpha\beta$ und $\alpha\beta$ macht mit *ab* einen Winkel von 21°. — Aus der Abbildung Taf. VIII erkennt man den Winkel sehr deutlich, welchen der Beckenring mit dem unteren Ende der Wirbelsäule bildet, welcher wegen seiner Beziehung zur Neigung des Beckens gegen den Horizont oder gegen die vom Becken zum Kopf gezogene Linie, und deswegen, weil er von allen diesen Winkeln sich allein nie ändert, wichtig ist. An obiger Abbildung kann dieser Winkel genau gemessen werden, was am lebenden Körper unmöglich und am Leichname sehr schwer ist. Wir haben der Deutlichkeit wegen in der Abbildung Taf. VIII den Winkel, welchen das Becken mit dem Horizonte bildet, mit dem Buchstaben z bezeichnet. Fügt man zu dem Winkel z den mit y bezeichneten Winkel hinzu, so erhält man den Winkel, welchen der Beckenring mit dem unteren Ende der Wirbelsäule macht, und dieser Winkel $y + z$ ändert sich nie ab, weil das Becken mit dem unteren Ende der Wirbelsäule fest verwachsen ist. Die Neigung des Beckens gegen den Horizont ist veränderlich, je nach der Stellung des Rumpfs, und es ist nöthig, wenn man diese Neigung misst, die Lage des Rumpfs anzugeben, bei welcher die Messung gemacht wurde: misst man statt dessen jenen Winkel, welcher *konstant* ist, so ist ein solcher Zusatz nicht nöthig. Von diesen beiden Winkeln ist endlich die Neigung des Beckens gegen den ganzen Rumpf, wenn dessen Lage nach der Lage der beiden Endpunkte der Wirbelsäule bestimmt wird, zu unterscheiden, welche bei aufrechter Stellung die Neigung des Beckens gegen den Horizont um einen rechten Winkel oder um 90° übertrifft, und aus welcher die Lage des Beckens äusserlich am genauesten und bequemsten bestimmt wird, weil die Lage und Beugung des ganzen Rumpfs äusserlich sichtbar ist. Im dritten Abschnitte, wo wir die Neigung des Beckens genauer untersuchen, ist dieser Winkel vorzüglich berücksichtigt worden.

Die Abbildung Taf. VIII der Wirbelsäule giebt endlich auch eine richtige Ansicht von der Höhe der sämmtlichen Zwischenwirbelknorpel, welche beim unverletzten Skelete die im Abdrucke zwischen den Wirbelkörpern leer gebliebenen Räume erfüllen.

Da die ganze Wirbelsäule aus Wirbeln besteht, von denen jeder hinterwärts einen Knochenring bildet, so muss ein Durchschnitt, welcher

die ganze Wirbelsäule ihrer Länge nach von vorn nach hinten in zwei gleiche Hälften theilt, jeden dieser Ringe an zwei Stellen, nämlich hinten und vorn, schneiden. An den beiden Stellen aber, wo jeder Ring durchschnitten wird, befindet sich vorn der Wirbelkörper, hinten der Stachelfortsatz des Wirbelbogens. Man sieht daher auf dem Abdrucke der durchsägten Wirbelsäule den von allen Ringen gebildeten Kanal, nach vorn von der Reihe durchschnittener Wirbelkörper, nach hinten von der Reihe der Stachelfortsätze begrenzt. Die Gestalt der Wirbelsäule hängt, da die Wirbelkörper Zwischenräume zwischen sich haben, die am unverletzten Skelete durch die Wirbelknorpel erfüllt sind, nicht blos von der Gestalt der Wirbelkörper, sondern auch von der Gestalt der Wirbelknorpel ab. Diese Gestalt der Wirbelsäule ist von Natur schlangenförmig gekrümmt, wie der Abdruck sie darstellt, ohne dass sie durch die Kraft der Muskeln verändert worden ist. Der Halstheil derselben ist nämlich nach vorn, der Rückentheil nach hinten und der Lendentheil wieder nach vorn konvex ausgebogen, was vornehmlich daher rührt, dass die Knorpelscheiben, welche die Wirbelkörper von einander trennen, nicht allenthalben gleich hoch, sondern bald vorn höher und hinten niedriger, bald hinten höher und vorn niedriger sind und daher wie Keile zwischen die einzelnen Wirbel eingeschoben sind, welche dadurch krummlinig an einander gereiht werden. Um indessen genauer zu bestimmen, welchen Antheil die Wirbelkörper an der Gestaltung der Wirbelsäule haben, und welchen Antheil die Wirbelknorpel daran nehmen, haben wir an dem obigen Abdrucke der halbirten Wirbelsäule die Höhe und Dicke der Wirbelkörper sowohl als der Wirbelknorpel gemessen, und diese Messungen in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

Die erste Kolumne giebt die Stellenzahl des Wirbels von oben gerechnet, die zweite Kolumne die mittlere Höhe der Wirbelkörper, die dritte Kolumne die mittlere Höhe der Wirbelknorpel, die vierte Kolumne den Unterschied der Höhe der Vorder- und Hinterseite jedes Wirbelkörpers, die fünfte Kolumne den Unterschied der Höhe der Vorder- und Hinterseite jedes Wirbelknorpels, die sechste Kolumne die mittlere Dicke der Wirbelknorpel. Alle Messungen sind in Millimetern ausgedrückt.

Tabelle I.

Messungen der Wirbelkörper und Wirbelknorpel.

No.	Mittlere Höhe		Unterschiede der Höhen der Vorder- und Hinterseiten		Mittlere Dicke der Knorpel
	der Körper	der Knorpel	der Körper	der Knorpel	
1	0,00		0,0		
		0,00		0,0	0,0
2	31,50		+ 3,0		
		2,70		+ 0,6	14,7
3	13,20		+ 0,8		
		3,55		+ 3,1	14,9
4	13,05		— 0,1		
		2,65		+ 1,3	14,2
5	13,10		— 0,6		
		3,75		+ 1,5	15,1
6	12,00		— 1,0		
		4,60		+ 1,2	15,9
7	13,00		— 0,8		
		3,45		+ 0,1	15,2
	95,85	20,70	+ 1,3	+ 7,8	
1	16,80		— 1,0		
		3,40		+ 0,8	17,0
2	18,60		— 0,2		
		3,15		— 1,3	19,8
3	18,50		— 0,2		
		2,40		— 1,2	21,3
4	19,20		— 2,0		
		1,90		— 1,8	24,9
5	19,85		— 1,9		
		2,15		— 0,7	26,4
6	19,40		— 2,0		
		3,10		— 1,4	27,5
7	19,50		— 2,4		
		3,15		— 1,3	28,3
8	20,45		— 1,5		
		4,30		— 1,2	28,5
9	20,45		+ 0,3		
		3,20		— 1,2	27,8
10	23,20		— 0,0		
		2,50		— 0,6	28,0
11	23,20		— 1,4		
		5,65		+ 0,7	28,8
12	23,80		— 1,0		
	242,95	34,90	— 13,3	— 9,2	
		4,70		+ 2,0	27,9
1	26,60		— 0,8		
		4,85		+ 2,1	29,1
2	28,15		— 1,1		
		6,90		+ 2,2	29,1
3	28,15		+ 0,7		
		6,85		+ 3,3	29,3
4	26,75		+ 1,7		
		8,65		+ 2,3	29,5
5	26,30		+ 6,2		
		10,90		+ 9,2	27,7
	135,95	42,85	+ 6,7	+ 21,1	

Aus der Vergleichung der in Kolumne 4 und 5 für den Hals, Rücken und die Lenden besonders gezogenen Summen der Unterschiede der vorderen und hinteren Wirbelkörper- und Knorpelhöhen, nämlich

	der Wirbelkörperhöhe	der Wirbelknorpelhöhe	Summa
am Halse	+ 1,3	+ 7,8	+ 9,1
am Rücken	—13,3	— 9,2	—22,5
an den Lenden	+ 6,7	+21,1	+27,8

ersieht man, dass die Krümmung der Wirbelsäule am Halse und an den Lenden vorzugsweise von der Gestalt der Zwischenwirbelknorpel herrührt, da die Endflächen der meisten Hals- und Lendenwirbel (mit Ausnahme des zweiten Hals- und letzten Lendenwirbels) von fast parallelen Flächen oben und unten begrenzt sind. Die Krümmung der Wirbelsäule im Rücken rührt dagegen zum grösseren Theil von der Keilform der Wirbelkörper und nur zum kleineren Theil auch von der Keilform der Knorpel her.

Diese ihre natürliche Gestalt kann die Wirbelsäule vermöge der Beugsamkeit der zwischen den Wirbeln gelegenen Knorpel abändern und sich nach verschiedenen Seiten *krümmen.* Die Natur hat also diese Beweglichkeit hier nicht wie bei anderen Körpertheilen durch Gelenke hervorgebracht, sondern dafür eine grosse Zahl weicher und beugsamer Knorpel auf die ganze Länge der Wirbelsäule vertheilt und zwischen die unbeugsamen Knochen eingefügt, und hat dadurch das in ihrem Kanale aufgehangene Rückenmark vor jeder Quetschung oder Drehung gesichert. Die Wirbelkörper mit den Wirbelknorpeln bilden eine sehr elastische Säule, welche durch Muskeln, die sich an langen an ihr vorspringenden Hebeln, nämlich hinten an den Stachelfortsätzen, die man Taf. VIII durchschnitten sieht, und zu beiden Seiten an den eben so langen Querfortsätzen befestigen, nach verschiedenen Richtungen gebogen und gedreht werden kann, die aber stets, so wie die Kraft nachlässt, von selbst durch die Elasticität ihrer Knorpel zu ihrer natürlichen Lage zurückkehrt. Besonders interessant ist die *Struktur* dieser Zwischenknorpel, wodurch sie der Ausdehnung und Zusammenziehung fähig sind, eine Struktur, welche auf diese Weise ausgeführt sonst im übrigen Körper nicht vorkommt, und welche E. H. Weber in Meckel's Archiv 1827 beschrieben und abgebildet hat. Jede zwischen zwei Wirbelkörpern liegende Faserknorpelscheibe besteht nämlich aus blätterartigen senkrechten Parallelschichten, gleichsam aus vielen in einander koncentrisch eingeschlossenen häutigen Cylindern, deren oberer und unterer Rand an den beiden nächsten Wirbelkörpern angewachsen sind. Auf Taf. II sieht man in Fig. 1 am Ende des Kreuzbeins den Quer-

schnitt des untersten Lendenwirbelknorpels, in Fig. 2 den senkrechten Durchschnitt eines höheren von vorn nach hinten durchsägten Lendenwirbelknorpels. Die Wände dieser häutigen Cylinder gehen aber nicht gerade von oben nach unten, sondern sind nach der Peripherie zu, bei *ad* und *bc*, nach aussen, nach dem Mittelpunkt zu, bei *gf* und *he*, aber nach innen ausgebaucht. Beugt man sich nun vorwärts, so falten sich diese Cylinder an ihrer vorderen Seite und entfalten sich dagegen an ihrer hinteren; beugt man sich rückwärts, so falten sich die Cylinder hinten und entfalten sich dagegen vorn. Dreht sich die Wirbelsäule in horizontaler Ebene, so erhalten die häutigen Cylinder eine Torsion, die sehr bald mit grosser Kraft die Bewegung hemmt. Der mittlere weiche Kern der Zwischenwirbelscheiben ist geeignet, sich jeder Form anzupassen, die die häutigen Cylinder annehmen. Die Vergleichung der festen Wirbelkörper mit diesen weichen so wundervoll gestalteten Knorpeln ergiebt, dass alle Beugungen der Wirbelsäule blos von diesen Knorpeln ausgehen, und dass man daher aus der Länge, Dicke und Breite dieser Knorpel auf das Verhältniss der Beugsamkeit ihrer verschiedenen Abtheilungen müsste schliessen können. Aus Tabelle I ergiebt sich aber, dass

die Länge aller Halswirbelknorpel	20,7	Millimeter
die Länge aller Rückenwirbelknorpel	34,9	„
die Länge aller Lendenwirbelknorpel	42,85	„

und ihre Durchmesser im Mittel relativ

15,0	Millimeter
25,3	„
28,0	„

betragen; folglich die Querschnitte sich verhalten nahe wie

225 : 640 : 784

(vorausgesetzt, dass die Breite der Dicke nahe proportional ist, welches wirklich Statt findet). Daraus lässt sich schliessen, dass, wenn die Halswirbel-, Rückenwirbel- und Lendenwirbelsäule abgesondert von gleichen Kräften gebogen würden, ihre Beugungswinkel in Folge ihrer *Elasticität* sich nahe verhalten würden, wie

$$\left(\frac{20,7}{225}\right)^2 : \left(\frac{34,9}{640}\right)^2 : \left(\frac{42,8}{784}\right)^2 = 846 : 297 : 298,$$

d. i. der Beugungswinkel würde für den ganzen Rücken- und Lendentheil (trotz ihrer ungleichen Länge) fast gleich, der Beugungswinkel des Halses aber, trotz der Kürze des Halses, fast drei Mal grösser sein.

Die Bewegungen der Wirbelsäule werden nicht allein von der elastischen Kraft der Wirbelknorpel beschränkt, sondern auch von den

Gelenken, welche die Wirbelbögen unter einander, und den untersten Wirbelbogen mit dem Kreuzbeine verbinden. Vom oberen und unteren Rande jedes Wirbelbogens gehen links und rechts schiefe Fortsätze aus, die sich einander mit glatten Gelenkflächen berühren. Diese sich berührenden Gelenkflächen jener schiefen Fortsätze haben an den Hals-, Rücken- und Lendenwirbeln eine verschiedene Lage und Gestalt und beschränken daher die Bewegung dieser Wirbel auf verschiedene Weise, so wie es die Sicherheit des darin befindlichen Rückenmarks und der davor liegenden Organe erfordert. Daher kommt es z. B., dass die an sich schon sehr wenig beweglichen Rückenwirbel in der Richtung von vorn nach hinten fast ganz unbeweglich werden, aber um ihre Vertikalaxe drehbar bleiben; dass die Lendenwirbel dagegen ihre Beugsamkeit von vorne nach hinten behalten, ihre seitliche Beugung und Drehung aber ganz verlieren. Die grosse Beweglichkeit der Halswirbel endlich wird aber dadurch in keiner Richtung sehr beschränkt.

Von allen übrigen Wirbeln unterscheidet sich der oberste Wirbel oder der Atlas. Er ist nicht wie die anderen aus einem Körper und Bogen zusammengesetzt, sondern bildet einen fast allenthalben gleich dicken Ring, ohne Körper und Stachelfortsatz, der mit dem Kopfe und mit der übrigen Wirbelsäule durch keine Wirbelknorpel, wie sonst alle Wirbel und das Kreuzbein, verbunden ist. Seine Bewegung ist daher nicht durch die Elasticität eines Wirbelknorpels beschränkt. Auf dieser eigenthümlichen Konstruktion des Atlas beruht die grosse Beweglichkeit des Kopfs auch bei feststehender Wirbelsäule, wie wir im folgenden Paragraph betrachten wollen, wo wir die Gelenke, zu deren Bildung der Atlas gebraucht wird, untersuchen werden.

§ 43.

Gleichgewicht und Beweglichkeit des Kopfes auf dem Rumpfe.

Auf der Wirbelsäule ist der Kopf so eingelenkt, dass er auf derselben balancirt, eine Einrichtung, die dem aufrechtgehenden Menschen eigenthümlich ist. Bei den anderen Thieren hat der Kopf ein starkes Uebergewicht nach vorn; sie besitzen daher im Nacken ein starkes Band, das *ligamentum nuchae,* welches den Kopf an die Wirbelsäule befestigt, und sein Herabsinken verhindert. Dieses Band fehlt aber beim Menschen fast ganz und ist ihm auch entbehrlich, weil sein Kopf, wenn er aufrecht getragen wird, vertikal unter seinem Schwerpunkte unterstützt ist, und sein Gewicht daher blos auf die knöcherne Unterlage drückt, auf welcher er steht. Wir trennten bei einem frischen Leichname den Kopf über dem obersten Wirbel, dem Atlas, vom übrigen Rumpfe und stellten ihn so auf die ebene und horizontale obere Endfläche eines

vertikalen Cylinders auf, dass er dieselbe nirgends berührte, als mit den beiden konvexen Gelenkflächen, mit welchen er sonst auf der Wirbelsäule ruht. Es gelang uns, den Kopf auf dieser ebenen Fläche so in das Gleichgewicht zu bringen, dass er völlig frei balancirte und in dieser Lage längere Zeit ohne weitere Unterstützung stehen blieb, ehe er in Folge der hohen Lage seines Schwerpunkts nach der einen Seite überschlug. In dieser Lage des Gleichgewichts nun hatte der Kopf eine vollkommen aufrechte Stellung, das Gesicht gerade aus, kaum merklich nach aufwärts gerichtet, ungefähr so, wie wenn wir den Kopf sehr gerade tragen. Wenn nun der Kopf des lebenden Menschen dieselbe Stellung auf dem Rumpfe hat, so muss er darauf ebenso balanciren, und es brauchen, um ihn zu halten, die Muskeln, welche vom Kopfe zum Rumpfe führen, nicht angestrengt zu werden. Es kann hiervon sich Jeder selbst überzeugen, wenn er den Kopf bei aufrechter Stellung mit Aufmerksamkeit nach einander in verschiedene Lagen der Beugung und Streckung bringt. Er wird alsdann finden, dass die genannte Lage diejenige ist, in welcher er den Druck des Kopfes am wenigsten fühlt.

Der Kopf hat auf der ihn tragenden Wirbelsäule eine grosse Beweglichkeit. Er kann sich nicht allein sehr weit vorwärts und rückwärts beugen, sondern auch in einem fast nicht geringeren Umfange in horizontaler Ebene drehen. Da aber das in der Wirbelsäule eingeschlossene Rückenmark neben einem ganz freien Gelenke, das alle jene Bewegungen gestattete, in grosse Gefahr kommen würde, so hat die Natur die Beweglichkeit auf *zwei* Gelenke vertheilt, wodurch neben der Beweglichkeit eine grössere Festigkeit und Sicherheit der Gelenkverbindung erreicht wurde. Das eine Gelenk, welches sich zwischen Kopf und Atlas befindet, gestattet nur Beugung und Streckung, weil es von zwei zu beiden Seiten des Hinterhauptloches gelegenen Condylen gebildet wird, welche mit nach unten gekehrten Cylinderflächen in gleiche cylindrische Vertiefungen des Atlas eingreifen, und deren Axe horizontal von rechts nach links geht; das andere Gelenk, welches sich zwischen dem Atlas und der übrigen Wirbelsäule befindet, gestattet nur die Drehung des Kopfes in horizontaler Ebene. Der Körper des zweiten Halswirbels, des *epistropheus*, verlängert sich nämlich nach oben in einen runden Zapfen, den man bei *E* Taf. VIII im Durchschnitte sieht und der durch den Atlas hindurchgeht. Dieser Zapfen erfüllt aber nicht die ganze Höhlung des Atlas, weil durch dieselbe Höhlung der Wirbelkanal hindurchgeführt ist, in welchem das Rückenmark Raum haben soll, sondern nimmt blos den vorderen Theil der Atlashöhle ein, wo diese eine cylindrische Ausbeugung für ihn macht, in der er durch ein am Atlas fest gewachsenes, ihn eng umschliessendes Band zurückgehalten wird. Um diesen Zapfen des zweiten Halswirbels, der die Endspitze der ganzen

Säule der Wirbelkörper ist, dreht sich der Kopf, wenn er sich horizontal von einer Seite zur anderen wendet, weil sich der Atlas nicht ohne den Kopf und der Kopf nicht ohne den Atlas drehen kann.

§ 44.

Beugung und Streckung des ganzen Körpers vom Kreuzbeine bis zum Kopfe.

Da so viele Einrichtungen von der Natur getroffen sind, um eine Aenderung der gegenseitigen Lage der Körpertheile möglich zu machen, so kann man schon daraus vermuthen, dass eine solche Aenderung oft nothwendig sei, und dass sie insbesondere nothwendig sei, um dem Körper bei den verschiedenen Bewegungen des Gehens und Laufens, zumal unter verschiedenen äusseren Verhältnissen, immer die vortheilhafteste und bequemste Haltung zu geben, wodurch jene Bewegungen fortzusetzen möglich wird.

Jene Beweglichkeit der Theile unter einander ist nicht grösser, als dieser Zweck erfordert, und selbst diejenigen Lagen, welche uns in der Ruhe sehr schwer fallen würden, werden beim Gehen und Laufen oft leicht und nothwendig. Es ist daher nöthig, den ganzen freien Spielraum zu kennen, den wir haben, um die Haltung unseres Körpers den Umständen und unserer Thätigkeit anzupassen. Wir haben den Spielraum untersucht, den man in der Beugung und Streckung des Beckens, des Thorax und des Kopfes gegen einander hat, und wollen davon jetzt, zum Schlusse unserer Betrachtung des Oberkörpers, eine Vorstellung geben. Es war dazu nöthig, an jedem dieser Theile wenigstens zwei feste Punkte zu wählen, auf die wir bei allen Beugungen und Streckungen unsere Aufmerksamkeit richteten, und die Winkel zu messen, welche die durch diese beiden Punkte gezogenen Linien mit einander machen. Es reicht hin, sich an die Betrachtung dieser wenigen Punkte zu halten, wenn man blos die Lagenänderung untersucht. Am Kopfe wählten wir zu diesem Zwecke zwei feste Punkte vor und hinter dem Scheitel, am Thorax zwei feste Punkte des Brustbeins, am Becken zwei feste Punkte des Kreuzbeins, alle in derselben Ebene liegend, welche den Körper in zwei gleiche Seitenhälften zerlegt, alle an so vorspringenden Knochentheilen, dass ihre Lage unabhängig von der Verschiebung der Haut beobachtet werden konnte. Wir fixirten alle diese Punkte gleichzeitig, indem wir auf einer horizontalen Ebene, auf welcher ein Mensch so lag, dass alle Beugungen und Streckungen dieser Ebene parallel geschahen, hölzerne Klötze mit vertikalen Kanten auflegten und so lange verschoben, bis sie alle gleichzeitig die beobachteten Punkte des Körpers berührten. War dies geschehen, so konnte der Mensch aufstehen, wenn

nur die Klötze festgehalten wurden, und die Messungen konnten nun unabhängig von dem Körper mit Musse und mit Schärfe gemacht werden. Wir haben gefunden, dass sich diese Messungen am genauesten und bequemsten mit einer Magnetnadel machen liessen, deren Kreistheilung auf einer Quadratscheibe aufgetragen ist, die man so verschiebt, dass ihr Rand die vertikalen Kanten der eingestellten Klötze berührt. So lernt man die Winkel kennen, welche alle Linien mit dem magnetischen Meridiane machen, und berechnet daraus die Winkel, welche sie unter einander machen.

Misst man nun die Winkel, welche die bezeichneten Linien am Kopfe, am Brustbeine und am Becken mit einander machen, während der Kopf und das Becken bald hinten bald vorne einander möglichst genähert werden, so ergeben die *Unterschiede* beider Winkelmessungen die Zahl der Grade, um welche die genannten drei Linien oder der Kopf, der Thorax und das Becken ihre Lage *gegen einander* ändern. Wir haben diese Messungen bei zwei Menschen angestellt, und die beobachteten Beugungs- oder Streckungswinkel in folgende Uebersicht gebracht.

Tabelle II.

Messungen der Beugungs- und Streckungswinkel am Rumpfe.

	Scheitel und Brustbein	Brustbein und Kreuzbein	Scheitel und Kreuzbein
1.	147°	83°	230°
2.	175°	85°	260°
Mittel	161°	84°	245°

Sonach konnte sich der Kopf gegen das Becken im Mittel von diesen beiden Fällen um 245° beugen und zwar so, dass fast zwei Drittel von diesem Winkel auf die Halswirbel zusammen mit dem Kopfgelenke, und nur ein Drittel auf die Lendenwirbel kam.

§ 45.

Beweglichkeit der Arme gegen den Rumpf.

An den oberen und beweglicheren Theil des Rumpfes, an den Brustkasten oder Thorax, sind zu beiden Seiten die beiden Brustglieder oder Arme befestigt. Das Verbindungsstück zwischen beiden, das Schulterblatt, kann mit dem Becken oder dem Verbindungsstücke zwischen den Beinen und der Wirbelsäule verglichen werden, nur mit dem Unterschiede, dass das Schulterblatt mit der Wirbelsäule oder dem Rumpfe

überhaupt weder verwachsen, noch auch unmittelbar durch Gelenke damit verbunden ist, sondern dass es zunächst mit dem Schlüsselbeine *Cl*, [Taf. I] und dieses erst mit dem Brustbeine zusammen gelenkt ist. Wenn daher auch der Brustkasten an der Wirbelsäule ganz unbeweglich wäre, so besässen die Arme dennoch zwei Gliederungen mehr als die Beine, was für ihre Verrichtungen von grosser Wichtigkeit ist. So wie die Beine nämlich dazu dienen, uns zu den Gegenständen hinzutragen, so dienen die Arme dazu, nahe und bewegliche Gegenstände zu ergreifen und zu uns herzubewegen. Die Arme besitzen daher eine grössere Beweglichkeit nach allen Richtungen; die Beine besitzen dagegen eine grössere Festigkeit, und sind in ihren Bewegungen fast blos auf Beugung und Streckung beschränkt. Während der erwachsene Mensch nicht im Stande ist, mit seinen Füssen irgend eine Stelle seines Rumpfes zu berühren, giebt es für die Hände dagegen am ganzen Körper keinen Fleck, den sie nicht bei geeigneter Lage des Körpers zu erreichen vermöchten. Die Beine haben nämlich so eingerichtete Gelenke, dass sie sich im Zickzack beugen und wieder strecken, und dadurch sich verkürzen und wieder verlängern können. Die Arme haben dagegen so eingerichtete Gelenke, dass sie sich im Bogen beugen, und sind daher mehr geeignet, Gegenstände zu umfassen und zusammen mit dem Rumpfe zu umschliessen. Diese Zusammensetzung und diese Verbindung mit dem Rumpfe macht die Arme geeignet, beim Gehen und Laufen wichtige Dienste zu leisten, insbesondere beim schnellen Gehen und Laufen. Es ist bekannt, wie sehr beides erschwert wird, wenn die Arme nicht frei sind. Sind die Arme frei, so gestattet ihnen ihre Einrichtung, frei am Rumpfe vertikal herabzuhängen, auch wenn dieser beim Gehen und Laufen geneigt wird; ferner sich seitwärts zu heben und vermöge ihrer hohen Aufhängung am oberen Ende des Rumpfes letzteren durch ihre Hebung leichter zu balanciren, wenn er in Gefahr kommt, das Gleichgewicht zu verlieren; endlich hin und her zu schwingen, um den Einfluss der schwingenden Beine auf den Rumpf zu mässigen und ihn ruhiger zu erhalten.

§ 46.

Zusammensetzung der Beine.

Nachdem wir die gegenseitige Lage und Verbindung aller Theile des Oberkörpers betrachtet haben, der zwar nicht selbst zu den Gehwerkzeugen gehört, aber viele Einrichtungen hat, die bei den Bewegungen des Gehens und Laufens ihre Anwendung finden und von grosser Wichtigkeit sind, gehen wir zur Betrachtung der eigentlichen Gehwerkzeuge, der unteren Gliedmaassen oder der Beine, und ihrer Verbindung mit

dem Rumpfe über, und wollen eine kurze Uebersicht von ihrer Gestalt und Lage, und von der Verbindung ihrer Theile geben.

Der untere Theil des Körpers, die Beine, trägt den oberen Theil des Körpers, den Rumpf, wie dieser wieder den Kopf trägt, und zwar wird der Rumpf auf den Beinen eben so balancirt, wie der Kopf auf dem Rumpfe, d. h. er wird von ihnen getragen, auch ohne dass die Muskeln ihn zu halten brauchen. Diese Balance kann aber nicht bei allen Lagen des Rumpfes Statt finden, sondern, wie beim Kopfe, nur in einer, welche in der Ruhe die aufrechte Lage ist, beim Gehen und Laufen dagegen eine geneigte Lage wird. Auch die Beine, wissen wir, sind nicht einfache steife Stützen, sondern zerfallen in mehrere Abtheilungen, die auf einander stehen. Der Rumpf steht nämlich zunächst auf dem Oberschenkel, der Oberschenkel auf dem Unterschenkel, der Unterschenkel auf dem Fusse, und der Fuss endlich auf dem Boden auf. Es findet aber der Unterschied Statt, dass, während der Kopf immer auf dem Rumpfe *steht*, bei den Beinen oft auch, zumal beim Gehen und Laufen, der entgegengesetzte Fall eintritt, dass nämlich der Oberschenkel am Rumpfe, der Unterschenkel am Oberschenkel und der Fuss am Unterschenkel *hängt*, und dass oft ein schneller Wechsel vom Stützen zum Hängen und umgekehrt Statt findet. Der Gebrauch der Gelenke zwischen den Theilen der Beine ist daher viel mannigfaltiger, als zwischen den Theilen des Rumpfes, und auf diese Mannigfaltigkeit ist bei der Einrichtung derselben vielfach Rücksicht genommen. Wir haben es uns zur Aufgabe gemacht, mehrere dieser Rücksichten aufzusuchen, und zu untersuchen, wie ihnen genügt sei.

Die Beine sind bewegliche, der Verkürzung und Verlängerung fähige Stützen, welche *erstens* aus Knochen bestehen, die sich einander mit glatten Gelenkflächen berühren und durch Bänder an einander fest und in Berührung erhalten werden. Diese Bänder gestatten ihnen, sich, in soweit es für ihre Verrichtung nothwendig ist, gegen einander zu bewegen, verhindern aber alle überflüssigen Bewegungen; die Knochen und Bänder zusammen machen daher den *passiven Theil* der Bewegungsorgane aus, der nicht durch innere, sondern nur durch äussere Kräfte bewegt wird. — *Zweitens* gehen von einem Knochen zum anderen, so wie vom Beine zum Rumpfe bald über ein, bald über mehrere Gelenke hinweg Muskeln, d. h. Stränge, welche fähig sind, innerhalb gewisser Grenzen und auf kurze Zeit beliebig kürzer und fester zu werden, und dadurch in Stand gesetzt sind, bestimmten Zwecken gemäss die Lage der verbundenen Knochen zu ändern, oder sie auch in ihrer einmal angenommenen Lage gegen äussere auf sie einwirkende Kräfte zu erhalten; die Muskeln machen daher den *aktiven Theil* der Bewegungsorgane aus.

Die *erste* und oberste Abtheilung des Beins, durch welche das Bein mit dem Rumpfe zusammenhängt, ist *der Oberschenkel.* Er wird nur von einem einzigen, aber sehr langen und festen, grösstentheils röhrenförmigen Knochen, dem Oberschenkelbein, *femur*, Taf. I *Fe*, gebildet. Dieser Knochen hat eine sehr krumme Gestalt, so dass eine durch sein oberes und unteres Gelenkende gezogene Linie theilweise ganz ausserhalb des Knochens fällt. Sein oberes in der Pfanne des Beckens liegendes Gelenkende, der Oberschenkelkopf *C*, liegt nämlich nicht in der Verlängerung seiner röhrenförmigen Abtheilung, sondern am Ende eines Seitenastes, des Schenkelhalses, der sich unter einem nur wenig stumpfen Winkel an jene befestigt. Diese eigenthümliche Form, an welcher man das Schenkelbein sogleich von allen anderen Knochen unterscheidet, bewirkt, dass die zahlreichen und starken Muskeln, welche von der inneren Seite des Schenkels zum Becken gehen, Platz haben, so dass sich beide Beine einander auf keine Weise in ihren Bewegungen stören, und dass die vom Becken zum Schenkel quer herüber kommenden Rollmuskeln an der konvexen Seite des Knochenbogens einen Ansatzpunkt gewinnen, an welchem sie den Oberschenkel, wie die Hand einen Tischlerbohrer an seiner Kurbel, um seine Axe, d. h. um die durch seine beiden Gelenkenden gehende Linie, drehen können.

Die Spitze, in welche der Röhrentheil des Knochens nach oben ausläuft, den *trochanter major Tr*, kann man am lebenden Menschen sehr deutlich äusserlich wahrnehmen. Sie liegt mit dem Mittelpunkte des Schenkelkopfs gleich hoch und kann dazu dienen, die Höhe des letzteren, welcher mit dem ganzen Schenkelkopfe tief verborgen liegt, zu bestimmen.

Die *zweite* Abtheilung des Beins, *der Unterschenkel*, welcher von ähnlicher Länge wie der Oberschenkel, aber weit gerader ist, wird von zwei Knochen gebildet, die aber nicht gleich lang sind. Nur das grössere und stärkere Schienbein, *tibia Ti*, ist so lang, wie der ganze Unterschenkel, und ist am Oberschenkel und zugleich am Fusse eingelenkt und trägt daher allein die Last des auf ihm ruhenden Körpers. Der andere Knochen, das Wadenbein, *fibula Fi*, ist sehr dünn und fast unbeweglich mit ersterem verbunden: er reicht nach oben nicht bis an den Oberschenkel, nach unten aber bis an den Fuss, wo er an der Bildung des Fussgelenks Theil nimmt. Es scheint dieser Knochen vorzüglich dazu zu dienen, den Muskeln an der knöchernen Grundlage des Unterschenkels schickliche Ansatzpunkte zu geben.

Die *dritte* Abtheilung des Beins, oder der Fuss, enthält nicht, wie die beiden ersten Abtheilungen, Knochen, die so lang sind wie die ganze Abtheilung, sondern ist aus einer Reihe kürzerer Knochenstücke zusammengesetzt. Diese Knochen sind am mittleren Theile des Fusses,

der, mit Ausnahme des Sprungbeins, den ganzen Fuss bis an die Zehen ausmacht, fest und fast unbeweglich mit einander verbunden. Dieser mittlere unbeugsamere Theil des Fusses dient daher bald dazu, dem Boden zahlreichere Berührungspunkte darzubieten, wenn wir mit der ganzen Fusssohle aufstehen, bald, wenn er sich mit seinem hinteren Ende, der Ferse, erhebt, dazu, das Bein zu verlängern und den Körper durch seine Steifigkeit zu tragen. Dieser Theil bildet hinten auf seiner oberen Fläche eine tiefe Gelenkgrube, in welche der oberste Fusswurzelknochen, das Sprungbein, *talus T*, und durch ihn der Unterschenkel sehr beweglich eingelenkt ist. Das Sprungbein leistet hier einen ähnlichen Dienst, wie der Atlas bei der Einlenkung des Kopfes auf der Wirbelsäule. Er vermittelt eine doppelte Einlenkung des Fusses am Unterschenkel, wodurch diese Verbindung bei grosser Beweglichkeit eine grössere Festigkeit, als durch ein einziges freies Gelenk, erhält.

Vorne grenzt dieser unbeweglichere Theil des Fusses an die beweglichen Zehen, die wir hier als eine *vierte* Abtheilung des Beins von dem Fusse getrennt betrachten müssen, weil sie beim Stehen sowohl, als beim Gehen und Laufen, meist ganz andere Funktionen, als der übrige Fuss haben. Sie sind nicht geeignet, wie der übrige Fuss, die Last des Körpers zu tragen; wir können uns daher nicht bis auf die Zehenspitze, sondern nur bis auf den Ballen erheben: sie dienen vielmehr dazu, dem Beine, wenn dessen Fuss auf seinen Ballen erhoben ist, eine feste Unterlage zu geben, welche an seinen Bewegungen keinen Theil nimmt, wohl aber durch Zwischenmuskeln die Bewegungen des Beins und des ganzen Körpers bald hemmen, bald vergrössern kann. Insbesondere wird durch sie das Gleichgewicht des Körpers beim Stehen auf den Zehen erhalten. Wie nämlich ein senkrechter Stab nicht von selbst stehen bleibt, sondern bald umfällt, wenn nicht eine Kraft, z. B. seine Federkraft (wenn er eingeklemmt ist) vorhanden ist, die ihn zurückhält, sobald er von der senkrechten Lage abzuweichen anfinge, so würde auch das auf dem Ballen stehende Bein und mit ihm der ganze Körper umfallen, wenn die Zehen nicht wären und durch die Kraft ihrer Muskeln das Bein zurückhielten, sobald es von der vertikalen Lage abzuweichen anfinge. Ebenso wie beim Stehen haben ferner auch beim Gehen und Laufen die Zehen ganz andere Funktionen, als der übrige Fuss. Sie haben daher auch eine ganz andere Einrichtung als dieser und müssen deshalb für sich besonders betrachtet werden. Diese vierte Abtheilung der Gehwerkzeuge, oder die Zehen, ist aus sehr zahlreichen, aber sehr beweglichen Knochen zusammengesetzt und kann sich bei allen Lagen des Fusses dem Boden anschmiegen.

§ 47.

Verbindung und Beweglichkeit der Abtheilungen des Beins.

Die *Verbindung* aller vier Abtheilungen der Gehwerkzeuge *unter einander und mit dem Rumpfe*, oder ihre Gelenke, erfordern eine ausführliche Untersuchung wegen mannigfaltiger Einrichtungen, die bei ihrem Gebrauche von Wichtigkeit sind, und durch welche sie Haupttheile im Mechanismus der Gehwerkzeuge werden. Das Hüftgelenk z. B. ist eine Nuss, in welcher sich die schönsten und vollkommensten Kugelflächen einander berühren. Der Halbmesser dieser Kugeln, so wie der zur Berührung kommende Theil ihrer Oberfläche sind sehr gross: die Grösse des *Halbmessers* gestattet die sehr feste Verbindung des Kopfes mit dem übrigen Beine durch einen sehr starken Knochenhals; die Grösse der *Berührungsfläche* gewährt die Sicherheit und Genauigkeit der Haltung des Rumpfes gegen das Bein. Das Hüftgelenk hat die grössten Berührungsflächen von allen Gelenken des Körpers, und dennoch hat es zugleich auch eine so grosse Beweglichkeit, dass es, wenn es am Rumpfe hängt, wie ein Pendel hin und herschwingt, weil beide Kugelflächen, die auch, wenn das Bein hängt, so dicht an einander schliessen, dass weder Luft, noch eine andere Flüssigkeit zwischen sie eindringen kann, gerade die rechte Grösse haben, damit der auf das Bein wirkende Druck der atmosphärischen Luft ausreicht, die Last des Beins zu tragen, und also zu äquilibriren. Daher kommt es, dass trotz der Grösse der berührenden Flächen doch keine Reibung zwischen denselben vorhanden ist, welche Statt finden würde, wenn das Bein mit seiner Last unmittelbar auf dem Becken aufläge. Der Druck des Beins auf die Pfanne fällt dadurch hinweg, dass die Luft das Bein hebt. Nun drückt zwar die Luft andererseits mit gleicher Kraft auch auf das Becken; dieser Theil des atmosphärischen Drucks wird aber durch das andere Bein, welches das Becken festhält, aufgehoben, und beide Gelenkflächen daher in Berührung erhalten, ohne dass sie wechselseitig auf einander drücken. — Das Kniegelenk ist ein Mechanismus ganz eigenthümlicher Art, welcher bewirkt, dass die in einander gelenkten Knochen in der gestreckteren Lage, in welcher das Bein zum Stützen dient, in ihrer Bewegung gegen einander weit beschränkter sind, als in der Beugung, in welcher das Unterbein und der Fuss beim Klettern und vielen Verrichtungen im Sitzen eine ähnliche Beweglichkeit, als der Vorderarm und die Hand besitzen müssen, die ihm aber beim Gehen schaden würde. Durch diese besondere Einrichtung des Kniegelenks besitzt nämlich der Fuss (wie die Hand durch die Einrichtung des Ellenbogengelenks) eine Pronation und Supination. Diese Bewegung kann aber am Bein nur

in der gebogenen Lage desselben eintreten, und wird bei gestreckter Lage durch die Einrichtung des Knies selbst verhindert. — Die Einlenkung des Unterschenkels am Fusse ist, ähnlich der des Kopfes, auf zwei verschiedene Gelenke vertheilt. Das obere Gelenk, zwischen dem Unterschenkel und dem Sprungbeine, ist ein Charnier, dessen horizontale Axe von links nach rechts geht, und daher, wenn das Bein aufsteht und die Last des Körpers die beiden Gelenkflächen zusammendrückt, dem Unterschenkel nur gestattet, sich vorwärts und rückwärts zu drehen; das untere Gelenk, zwischen dem Sprungbeine und dem übrigen Fusse, hat dagegen seine gleichfalls horizontale Axe fast rechtwinklig gegen die vorige, nämlich von vorn nach hinten gerichtet, und gestattet daher dem Unterschenkel, sich auf dem Fusse auch von einer Seite zur anderen zu drehen. Durch beide Gelenke kann daher das Bein und mit ihm der ganze Körper gegen den ruhenden Fuss nach allen Richtungen bewegt werden, während doch jedes von beiden Gelenken die Festigkeit eines auf eine Richtung beschränkten Gelenks hat.

Den *Umfang* der Bewegungen aller jener Abtheilungen des Beins, welche durch den gleichzeitigen Gebrauch aller dieser Gelenke gestattet werden, und vorzüglich beim schnellen Gehen und Laufen ihre Anwendung finden, haben wir mit Ausnahme der Bewegung der Zehen (die zwar sehr gross ist, sich aber nicht genau messen lässt) bei denselben zwei Personen nach derselben Methode gemessen, die wir schon früher zur Messung der Beugsamkeit des Rumpfes angewandt und § 44 mitgetheilt haben. Stellen wir daher jene früheren Angaben über die Beugsamkeit des Rumpfes mit den Angaben dieser Messungen zusammen, so erhalten wir eine klare Uebersicht von der Beugsamkeit, welche die verschiedenen Abtheilungen des Körpers in der Richtung besitzen, welche der Ebene, in der wir uns beim Gehen und Laufen bewegen, parallel ist.

Tabelle III.

Messungen der Beugungs- und Streckungswinkel am Rumpfe und an den Beinen.

No.	Scheitel und Brustbein	Brustbein und Kreuzbein	Kreuzbein und Oberschenkel	Oberschenkel und Unterschenkel	Unterschenkel und Fussrücken
1.	147,0°	83,0°	+ 75,5°	— 153,1°	+ 53,6°
2.	175,0°	85,0°	+ 96,5°	— 136,5°	+ 72,0°
Mittel	161,0°	84,0°	+ 86,0°	— 144,8°	+ 62,8°

Die Beugungen aller dreier Beingelenke zusammen genommen betragen folglich für

No. 1.	(75,5° — 153,1° + 53,6°) =	— 24,0°
„ 2.	(96,5° — 136,5° + 72,0°) =	+ 32,0°
Mittel		+ 4,0°

Die drei Beingelenke, das Hüftgelenk, das Kniegelenk und das Fussgelenk, sind in der Ebene von hinten nach vorn, von der aufrechten Lage an gerechnet, abwechselnd nur nach entgegengesetzten Seiten drehbar. Das Hüftgelenk kann sich nur vorwärts, das Kniegelenk nur rückwärts, das Fussgelenk wieder nur vorwärts beugen. Wegen dieser entgegengesetzten Richtung haben wir in der Tabelle die Beugung des Hüftgelenks und Fussgelenks als positiv, die des Kniegelenks als negativ bezeichnet. Man sieht hieraus, dass die Beugung des Kniegelenks allein der Summe der Beugungen der beiden anderen Gelenke fast gleich ist, so dass sich die Beugungen der drei Gelenke gegenseitig aufheben, oder, mit anderen Worten, dass die Lage des Rumpfs gegen die Füsse durch die Summe der Beugungen aller drei Gelenke unverändert bleibt. Wenn z. B. der Rumpf vertikal stand, während der Fuss 30° gegen den Fussboden geneigt war, so blieb derselbe auch nach der gleichzeitigen Beugung aller jener drei Gelenke vertikal stehen, sobald nur der Fuss gleichfalls seine Neigung beibehielt. Der Rumpf behält aber bei einem solchen gleichzeitigen Gebrauch aller drei Gelenke nicht blos seine vertikale Lage bei, sondern bleibt auch in derselben *Vertikallinie* stehen; denn wir sind, wenn wir auf den Zehen stehen, im Stande, den Rumpf durch Zusammenkrümmung aller drei Gelenke plötzlich der Erde ganz nahe zu bringen und ihn ebenso schnell aus dieser kauernden Stellung wieder zu erheben, ohne irgend das Gleichgewicht zu verlieren. Dieses eigenthümliche Verhältniss, welches zwischen den Bewegungen der verschiedenen Abtheilungen der Beine Statt findet, rührt daher, dass, ausser der beschriebenen Abwechslung und Grösse der Beugungen der drei Gelenke, auch zwischen den Längen der Hebel oder der einzelnen Gliederungen, welche zwischen je zwei Gelenken liegen, ein bestimmtes Verhältniss Statt findet, dass namentlich die Unter- und Oberschenkel fast von gleicher Länge sind. Beides würde nicht möglich sein, wenn sich die Beine nicht im Zickzack, sondern, wie die Arme, im Bogen krümmten, z. B. wenn sich das Knie nach vorn statt nach hinten beugte. Fügen wir zu diesen Winkelmessungen noch die Bestimmungen über die Länge der einzelnen Abtheilungen des Beins hinzu, so lässt sich daraus die grösste und kleinste Länge finden, die das Bein, oder die gerade Linie erhalten kann, welche die Mittelpunkte des Schenkelkopfs und des Köpfchens des Mittelfusses verbindet. Der Konstruktion der Beine

gemäss, giebt es an ihnen vier Punkte, welche immer in gleichen Entfernungen von einander liegen, welches auch die Lage des Beins sei. Diese Entfernungen waren bei Tabelle III, No. 1 und 2 im Mittel folgende, nämlich: die der Mittelpunkte

des Kopfs und der Kondylen des Schenkelbeins . .	380,0	Millimeter,
der Kondylen und der Rolle des Astragalus . . .	420,0	„
der Rolle des Astragalus u. des Köpfchens d. Mittelfusses	136,0	„

Ausserdem machten die ersten drei Punkte, geradlinig verbunden, in der grössten Streckung einen Winkel von 184,8°, in der grössten Beugung einen Winkel von 40°, waren also, obiger Tabelle gemäss, einer Winkeländerung von 144,8° fähig; — ferner machten der zweite, dritte und vierte Punkt in der grössten Streckung einen Winkel von 157,4°, in der grössten Beugung einen Winkel von 94,6°, waren also, obiger Tabelle gemäss, einer Winkeländerung von 62,8° fähig. Hieraus ergiebt sich die Länge des Beins

in der grössten Streckung zu 924,26 Millimeter,
in der grössten Beugung zu 404,74 „

wovon die grösste und kleinste Länge, die das Bein überhaupt annehmen kann, nur wenig verschieden ist. Wir haben durch unmittelbare Messung bei dem Manne, Tabelle III, No. 1, der das Bein noch etwas mehr als der No. 2 beugen konnte,

für die grösste Länge des Beins 945,5 Millimeter,
für die kleinste Länge des Beins 337,7 „

gefunden.

§ 48.

Lage des Schwerpunkts und Vertheilung der Masse des menschlichen Körpers.

Unseres Wissens ist Borellus der einzige, der an einem Leichname Versuche zur Bestimmung der Lage des Schwerpunkts des menschlichen Körpers unternommen und bekannt gemacht hat. Die Kenntniss der Lage des Schwerpunkts des ganzen Körpers sowohl, als des Rumpfs für sich, ist unentbehrlich; denn so wie bei einem auf dem Finger getragenen Stabe sehr viel darauf ankommt, wie weit sein Schwerpunkt vom Finger entfernt liegt, eben so kommt beim Gehen sehr viel darauf an, wie weit der Schwerpunkt des Rumpfs von der Stelle entfernt liegt, wo der Rumpf sich auf das Bein stützt, und wie weit der Schwerpunkt des ganzen Körpers von der Stelle entfernt liegt, wo das Bein sich auf den Boden stützt. Da Borellus die Lage des Schwerpunkts nur ungefähr (durch die Worte „*inter nates et pubin*“) angegeben hat, so haben wir

seine Lage genauer zu bestimmen gesucht. Um eine grössere Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu erreichen, suchten wir zwar, wie BORELLUS, den auf ein Brett gelegten Körper auf einer horizontalen Kante zu äquilibriren, aber wir verschoben zu diesem Zwecke nicht das Brett mit dem Körper zugleich, sondern letzteren allein, während das Brett vorher, ehe der Körper darauf lag, zum Gleichgewichte gebracht worden war. Die Messung wurde dadurch von dem Brette ganz unabhängig. Wir suchten ferner die Lage des Gleichgewichts des Körpers selbst nicht unmittelbar zu finden, was bei einer solchen labilen Aufstellung gar nicht möglich ist, weil der Körper stets mehr nach der einen oder anderen Seite überzuschlagen geneigt ist, sondern wir hielten uns zur grösseren Sicherheit blos an die Beobachtung des Ueberschlagens des Brettes *nach der einen Seite,* wiederholten aber die Messung, nachdem der Körper auf dem Brette herumgedreht worden war. Da nun die eine Messung die Lage des Schwerpunkts um eben so viel zu hoch, als die andere zu tief angab, so gab das Mittel aus beiden die wahre Lage des Schwerpunkts.[1]) Bei einem 1669,2 Millimeter langen Manne erhielten

[1]) Wir nahmen zu diesem Behufe ein 7 Fuss langes, 1 Fuss breites, ebenes Brett, Taf. XVII, Fig. 20 *AB*, legten dasselbe horizontal auf die abgerundete Kante eines anderen vertikal aufgestellten Bretts, so dass es sich im Gleichgewichte befand. Durch zwei Linien an den Seiten des horizontalen Bretts, wo dieses die Kante des vertikalen Bretts berührte, wurde diese Lage bezeichnet und zur Erhaltung derselben während der Dauer der Versuche häufiger nachgesehen, ob keine Verrückung dieser Linien vorgegangen sei. Nachdem die eine Hälfte *A* des Bretts unterstützt worden war, legte sich der Mann, nach Entfernung aller Kleider, ausgestreckt der Länge nach mit dem Rücken auf das Brett, so dass der Schwerpunkt des Körpers soeben noch auf die unterstützte Hälfte des Bretts fiel, auf welcher sich auch der Kopf befand. Hierauf schob er sich durch kleine Bewegungen im Rückgrate äusserst vorsichtig und langsam, bei gleichbleibender relativer Lage aller Theile, gegen das Ende *B* des Bretts, bis letzteres das Uebergewicht erhielt. In dieser Lage wurde vom Scheitel auf das Brett ein Perpendikel gefällt, und die Stelle bezeichnet, wo letzteres das Brett traf. — Da das Brett allein sich im Gleichgewichte befunden hatte, mit dem Körper zusammen aber auf der Seite *B* das Uebergewicht hatte, so musste der Schwerpunkt des Körpers etwas über die durch die Drehungsaxe des Bretts gehende Vertikalebene hinaus nach dem Ende *B* hin verrückt worden sein. Darauf wurde derselbe Versuch, ohne das Brett zu verrücken, wiederholt, jedoch so, dass jetzt der Kopf auf die Seite *B* gelegt wurde, wo früher die Füsse lagen, während der Schwerpunkt des Körpers noch eben so, wie vorher, auf die unterstützte Seite *A* des Bretts, auf der jetzt die Füsse auflagen, fiel. Hierauf schob sich der Mann auf dieselbe Weise wie früher, nach dem Ende *B* des Bretts hin, bis diese Seite das Uebergewicht erhielt. In dieser Lage wurde vom Scheitel auf das Brett wieder ein Perpendikel gefällt, und die Stelle bezeichnet, wo letzteres das Brett traf. Der Abstand der beiden bezeichneten Stellen halbirt, gab den Abstand des Schwerpunkts vom Scheitel. Dieses Verfahren gestattet eine grosse Schnelligkeit bei der Ausführung und ist einer grossen Schärfe fähig, weil das Gleichgewicht nicht vollkommen hergestellt zu werden braucht, und die kleinen Unterschiede, wenn sie nur nahe gleich sind, auf das Endresultat keinen Einfluss haben. Denn der

wir nach einer Reihe unabhängig von einander angestellter Messungen für den Abstand

des Schwerpunkts vom Scheitel	721,5	Millimeter,
des Schwerpunkts von der Ferse	947,7	„
des Schwerpunkts von der Drehungsaxe des Hüftgelenks	87,7	„

Endlich haben wir an dem Skelete eines gleich grossen Mannes den Vertikalabstand des Promontoriums von der Drehungsaxe des Hüftgelenks gemessen und zu 79,0 Millimeter gefunden, woraus sich noch (weil diese Entfernung bei Menschen von gleicher Grösse nur wenig verschieden sein kann) eine vierte Bestimmung über die Lage des Schwerpunkts ableiten lässt, nämlich der vertikale Abstand

des Schwerpunkts vom Promontorium 8,7 Millimeter.

Wir haben vorgezogen, statt bei *vielen* Menschen dieselbe Messung zur Bestimmung der Lage ihres Schwerpunkts zu wiederholen, bei *einem* wohlgebildeten Menschen die Lage des Schwerpunkts zu *mehreren* weit von einander entfernten, am Skelete leicht und sicher wieder aufzufindenden Punkten seines Körpers zu messen, weil der Natur der Sache nach das Mittel aus diesen Angaben von den häufig vorkommenden Anomalien

Schwerpunkt des Körpers musste bei dem zweiten Versuche fast dieselbe Lage, wie bei dem ersten erhalten haben, damit das Brett nach derselben Seite B eben überschlug. Der Körper war also auf diese Weise in zwei entgegengesetzte Lagen gebracht worden, ohne seinen Schwerpunkt zu verrücken. Eine durch den Schwerpunkt gehende Vertikallinie musste daher in beiden Versuchen gleichweit von dem vom Scheitel herabgefällten Perpendikel abstehen, und folglich den Abstand dieser beiden letzteren, der auf dem Brette bezeichnet worden war, halbiren. Nach einer Reihe unabhängig von einander angestellter Messungen, ergab sich für diesen Abstand

als grösster Werth	1444,5	Millimeter,
als kleinster Werth	1441,5	„
folglich im Mittel	1443,0	„

der Abstand des Schwerpunkts vom Scheitel war darnach also

721,5 Millimeter.

Zieht man diese Grösse von der Länge des ganzen Körpers, die im Liegen 1669,2 Millimeter betrug, ab, so erhält man den Abstand des Schwerpunkts von der Ferse zu

947,7 Millimeter.

Nun betrug nach unserer Messung die Entfernung der Spitze des *trochanter major*, oder des Drehpunkts des Hüftgelenks, der in gleicher Höhe, wie der *trochanter major* sich befindet, von der Ferse nur

860,0 Millimeter,

folglich lag der Schwerpunkt

87,7 Millimeter,

oder $3\frac{1}{4}$ Par. Zoll über der beide Schenkelköpfe verbindenden Drehungsaxe.

weit unabhängiger sein muss, als eine einzelne, z. B. wie die ist, welche Borellus gegeben hat.

Nachdem von einem Leichname das eine Bein abgenommen worden war, fanden wir die Lage des Schwerpunkts höher, ungefähr in der Höhe des Nabels, nachdem beide Beine abgenommen worden waren, noch höher, in der Höhe des Schwertfortsatzes oder des unteren Endes des Brustbeins. Da der Schwerpunkt des Rumpfes so hoch liegt, so ist es nöthig, dass sich der Rumpf auf den Schenkelköpfen, wenn er, wie beim Stehen und Gehen, allein von ihnen getragen wird, wenigstens näherungsweise im Gleichgewichte befinde, damit den Muskeln ein unnöthiger beträchtlicher Kraftaufwand erspart wird. Dieses vorausgesetzt, muss der Schwerpunkt des Rumpfes auch in derjenigen Ebene liegen, welche beim aufrecht stehenden Menschen senkrecht durch beide Schenkelköpfe geht. Man kann diese Ebene näherungsweise bestimmen, wenn man neben einem Menschen, während er aufrecht steht, zwei Perpendikel in der Vertikalebene, welche durch beide Schenkelköpfe geht, aufhängt und beobachtet, welche Theile des Körpers diese so bezeichnete senkrechte Ebene schneidet. Es ging aus diesem Versuche hervor, dass diese Ebene am Kopfe ungefähr durch beide Zitzenfortsätze geht, welche zu beiden Seiten des Atlas liegen. So wie aber das obere Ende der Wirbelsäule senkrecht über dem Schwerpunkte liegt, ebenso liegt ihr unteres Ende senkrecht darunter. Denn durchsägt man ein aufrecht stehendes Becken senkrecht durch die Mitte seiner Pfannen (siehe § 61), so geht die Schnittfläche durch die Basis des Kreuzbeins oder durch das untere Ende des beweglichen Theiles der Wirbelsäule. Es folgt hieraus, dass der Schwerpunkt des Rumpfes in die durch *beide* Enden der Wirbelsäule gezogene gerade Linie fällt, ungefähr in gleiche Höhe mit dem Schwertfortsatze des Brustbeins.

Die beiden Beine können, wegen der grossen Beweglichkeit ihrer Abtheilungen gegen einander, den hoch über ihnen gelegenen Schwerpunkt des Rumpfes, vermöge der Steifigkeit ihrer Knochen nur in einer einzigen Lage tragen, wenn nämlich der Schwerpunkt des Rumpfes in einer senkrechten Ebene liegt, die zugleich die Mittelpunkte beider Schenkelköpfe, die Berührungslinien der Kniegelenkflächen und die Axen der Fussgelenke enthält, wo dann die Unterschenkel auf den Füssen, die Oberschenkel auf den Unterschenkeln und der Rumpf endlich auf den beiden Oberschenkeln balancirt werden. Es leuchtet aber ein, dass bei einer so labilen Aufstellung das Gleichgewicht unmöglich von Dauer sein kann. Der Schwerpunkt des Rumpfes würde sich daher durch den geringsten Anstoss von der Lage seines Gleichgewichts entfernen und fallen, wenn nicht eine Kraft da wäre, die ihn und seine Stützen sogleich zur Lage des Gleichgewichts zurückführten, sobald sie sich nur

ein wenig davon entfernt haben. Diese Verrichtung haben die Muskeln des Beins, welche jedes Glied, sobald es sich von der Lage des Gleichgewichts entfernt, sogleich zurückführen.

Das Hüft- und das Kniegelenk sind aber so eingerichtet, dass von der beschriebenen aufrechten Stellung an gerechnet sich das Hüftgelenk nur wenige Grade nach hinten, das Kniegelenk nur wenige Grade nach vorn strecken kann. Wollen wir daher recht fest und zugleich ruhig stehen, und die Muskeln gar nicht gebrauchen, so strecken wir beide Gelenke so weit über die Lage des Gleichgewichts hinaus, bis sie den höchsten Grad ihrer Streckung erreicht haben, wo dann der Schwerpunkt des Rumpfes nur allein noch über dem Fussgelenke senkrecht steht, das Hüftgelenk aber vor, und das Kniegelenk hinter der durch ihn gezogenen Vertikallinie liegt. Alsdann wird nämlich der Druck, den der Rumpf durch sein Gewicht auf seine Stützen ausübt, so wirken, als wenn das Hüft- und Kniegelenk noch mehr gestreckt werden sollten, was jedoch durch die Elasticität ihrer Bänder verhindert wird. Der ganze Körper wird alsdann bis zum Fussgelenke von den Knochen der Beine und ihren Bändern getragen und braucht, wie eine einzige steife Masse, von den Muskeln nur auf dem Fusse balancirt zu werden. Befinden sich aber die Knochen der Beine nicht in dieser Lage, sind sie vielmehr wie beim Gehen und Laufen im Knie und Fussgelenke gebogen und dadurch verkürzt, oder haben sich die Füsse bis auf die Ballen erhoben, so können die Beine die Last des Körpers nicht mehr allein durch ihre Steifigkeit tragen, sondern die Muskeln müssen alsdann den Mangel der Steifigkeit des Knochengerüstes durch ihre Spannung ersetzen. Die Muskeln halten alsdann einen Theil der Körperlast, der um so grösser ist, je weiter sich die Knochen von ihrer aufrechten Lage entfernt haben. Wir können daher die Muskeln der Beine als Vorrichtungen betrachten, welche die an sich gegen einander beugsamen Abtheilungen derselben in jeder Lage in steife Stützen verwandeln können, und dadurch das Fortschreiten des Körpers auf den Beinen möglich machen.

§ 49.

Vereinigung anderer Bestimmungen des Körpers mit der des Gehens und Laufens.

Diese Bemerkungen über *die äussere Gestalt* und *die Proportionen* der Gehwerkzeuge unter einander und zum übrigen Rumpfe, welche für die von uns betrachtete Bestimmung des Körpers sehr wesentlich sind, so wie die in den folgenden Abschnitten enthaltenen speciellen Untersuchungen *der Gelenke* des Beins, können dazu dienen, manche Beispiele

an die Hand zu geben, wie fein von der Natur bei der Organisation der Gehwerkzeuge die Mittel den Zwecken gemäss berechnet und abgemessen worden sind, woraus ihr vielfacher Gebrauch bei so einfacher Konstruktion wohl begreiflich wird. Wir sehen dadurch bestätigt, was schon aus der allgemeinen Erfahrung beim Gehen und Laufen hervorgeht, dass, ungeachtet das Gehen und Laufen nur eine einzelne Bestimmung dieses wundervollen Organismus ist, dessen übrige Bestimmungen ausser dem Kreise unserer Untersuchung liegen, doch der Bau des ganzen Körpers so eingerichtet ist, als wenn alle Maasse desselben dieser einzigen Bestimmung gemäss genommen worden wären. Indem wir aber nachzuweisen versucht haben, wie vollkommen der menschliche Körper in Bezug auf das Gehen und Laufen eingerichtet ist, leugnen wir seine Vollkommenheit für andere Bestimmungen nicht ab, sondern glauben vielmehr, dass diese Vereinigung so vieler Bestimmungen in gleich vollkommenem Grade bei demselben Organismus, ohne dass die eine der anderen Eintrag thut, am meisten unsere Bewunderung verdiene.

Zweiter Abschnitt.

Ueber die Neigung des Beckens.

§ 50.

Messung der Neigung des Beckens an lebenden Menschen.

Das menschliche Becken ist ein hinten breiterer, vorn schmälerer Knochenring am untersten Theile des Rumpfes, dessen schräg nach hinten und unten gekehrte Oeffnung durch eine muskulöse Wand verschlossen wird, in der sich nur kleine Oeffnungen für den After und die Geschlechtswege befinden. Hierdurch wird dieser Ring zu einer Art von Gefäss, dem man den Namen eines Beckens gegeben hat. Oben auf der hinteren Wand dieses Ringes, dem Kreuzbeine, ruht die Wirbelsäule, durch einen Zwischenwirbelknorpel mit ihm verwachsen, und bildet mit dem Beckenringe zusammen die Grundlage des ganzen Rumpfes. An beiden Seiten des Ringes befinden sich Pfannen, welche auf den beiden Schenkelköpfen der Beine ruhen. Vermöge der Beugsamkeit der Lendenwirbel kann sich der obere Theil des Rumpfes auf dem Becken zwar etwas bewegen; grössere und raschere Bewegungen aber werden vom ganzen Rumpfe dadurch ausgeführt, dass sich das Becken auf den Schenkelköpfen dreht, auf denen es sehr beweglich ist. Steht blos das eine Bein fest, so kann sich das Becken sehr leicht nach allen Seiten drehen; sind dagegen

beide Beine fixirt, stehen sie z. B. steif und fest auf dem Boden, so kann sich das Becken nur noch in *einer* Ebene auf denselben drehen, nämlich in der senkrechten, von vorn nach hinten gehenden Ebene um eine Axe, die durch beide Schenkelköpfe geht. Taf. II zeigt ein aufrecht stehendes Becken in seiner Verbindung mit den beiden Beinen, nachdem seine vordere Hälfte hinweggesägt worden ist. So wie ein cylindrisches Gefäss, z. B. eine Obertasse, wenn man es an seinem Rande zwischen zwei Fingerspitzen hält und einklemmt, sich nur um eine durch beide Fingerspitzen gehende Axe drehen kann, so dass sich seine Oeffnung nach vorn, sein Boden nach hinten wendet oder umgekehrt, so wird der Ring des Beckens zwischen den beiden fixirten Schenkelköpfen *C, C* festgehalten und eingeklemmt und kann sich nur um die Linie *CC* drehen. Dieser Ring liegt bei aufrechter Stellung des Rumpfes nicht horizontal, sondern geneigt. Taf. XVII, Fig. 17, zeigt ihn in seiner richtigen Neigung zum Fussboden. Die beiden nach oben vorspringenden Darmbeine sind nämlich bis zur *linea arcuata* weggenommen, so dass man die ringförmige Gestalt des Beckens und seine Neigung gegen den Fussboden deutlich wahrnimmt, die in diesem Falle 62 Grad beträgt. Diese Neigung des Beckens findet man zwar bei verschiedenen Menschen oft sehr verschieden, bei demselben Menschen aber immer gleich, ungeachtet das Becken sehr beweglich ist. Die Ursache hiervon liegt darin, dass wir (siehe § 48) den ganzen Rumpf auf den Schenkelköpfen dadurch balanciren, dass wir den Schwerpunkt des Rumpfes vertikal über der Drehungsaxe erhalten. Liegt nun der Schwerpunkt immer vertikal über der Drehungsaxe und beugen wir weder die Wirbelsäule, noch verstellen wir die Arme (behalten alle Theile des Rumpfes ihre relative Lage), so muss auch das Becken, als ein fester Bestandtheil des Rumpfes, seine Lage gegen die durch den Schwerpunkt gehende Vertikallinie oder auch gegen die durch die Drehungsaxe gelegte Horizontalebene beibehalten, d. i. die Neigung des Beckens gegen den Horizont muss immer gleich sein. Dies vorausgesetzt, kann man bei aufrechter Stellung die Neigung des Beckenringes gegen den Horizont messen und daraus seine Neigung gegen den Rumpf ableiten, deren Kenntniss oft sehr wichtig ist. Diese letztere Neigung nämlich ändert sich nicht, auch wenn der ganze Rumpf sich dreht, sobald nur die Wirbelsäule nicht gekrümmt wird. Sie bleibt also auch bei horizontaler Lage sich gleich, und man kann aus derselben die Lage des Beckenringes sich auch am liegenden Menschen deutlich machen.

Die Anatomen und Geburtshelfer haben immer dem Becken eine zu geringe Neigung zugeschrieben, wozu die Vergleichung eines Beckens mit einem Gefässe Veranlassung gegeben hat. Weil man nämlich ein Gefäss in der Regel so aufstellt, dass sein Boden horizontal und seine

Oeffnung nach oben gekehrt ist, so hat man sich auch die Lage des Beckens so vorgestellt, als ob der muskulöse Boden des Beckens horizontal, der Knochenring und die Gefässwände vertikal ständen. Dieser Vorstellung gemäss pflegt man einem Becken, das vor uns auf dem Tische steht, eine solche Lage zu geben, dass die Oeffnung des Beckenringes aufwärts gekehrt ist, und weil die Anatomen das Becken in dieser Lage und nicht in der, welche es am menschlichen Körper hat, beschrieben, so haben sich in die Handbücher derselben falsche Ausdrücke (horizontaler und absteigender Ast des Schambeins, aufsteigender Ast des Sitzbeins) eingeschlichen, welche noch mehr beitrugen, die unrichtige Vorstellung von der Lage des Beckens zu befestigen, so dass selbst alle Skelete und deren Abbildungen dieser irrigen Ansicht gemäss dargestellt wurden. NAEGELE (Ueber das weibliche Becken, Karlsruhe 1825) hat die verschiedenen bis dahin aufgestellten Angaben des Neigungswinkels zusammengestellt. Die Neigung des Beckens gegen den Horizont wird durch den Winkel bestimmt, welchen der Durchmesser des Beckens an dessen oberem Rande mit dem Horizonte macht. Diese Linie lässt sich aber am lebenden Menschen nicht beobachten. ROEDERER hat daher für dieselbe den Durchmesser am unteren Rande genommen, der von der Spitze des Schwanzbeins nach dem unteren Rande der Schamfuge gezogen, und also durch zwei Punkte bestimmt wird, die sich leicht durch den fühlenden Finger entdecken lassen, deren Lage aber bei verschiedenen Becken grösseren Abweichungen unterworfen zu sein scheint, als die der Endpunkte des oberen Durchmessers. Er maass bei aufrecht stehenden Weibern die senkrechten Abstände dieser beiden Punkte vom horizontalen Fussboden mittelst eines Senkels, das er von ihnen auf den letzteren herabliess, und erhielt aus ihrer Differenz den Vertikalabstand beider Punkte von einander. Diese Messungen sind von NAEGELE wegen ihrer Wichtigkeit mit grosser Genauigkeit wiederholt und mit ausserordentlicher Beharrlichkeit Jahre lang fortgesetzt worden. Durch solche Messungen an 500 wohlgebauten Personen weiblichen Geschlechts ist er zu dem Resultate geführt worden, dass die Schwanzbeinspitze mit wenig Ausnahmen bei aufrechter Stellung höher als der untere Rand der Schamfuge liege, und zwar im Mittel $7\frac{1}{10}$ Linie oder etwa 16 Millimeter. Da aus diesen Messungen allein (so lange der Horizontalabstand beider Perpendikel nicht gemessen wird) die Lage des Durchmessers am unteren Rande des Beckenringes sich noch nicht bestimmen, und sich noch weniger daraus ein Schluss auf die Lage des Durchmessers am oberen Rande machen lässt, so benutzte NAEGELE den Tod mehrerer Personen, bei denen er die relative Lage der Schwanzbeinspitze und des unteren Randes der Schamfuge nach obiger Methode bestimmt hatte, um das Becken nachher in der-

selben Lage, wie im Leben, aufzustellen, und daran nicht allein die wechselseitige Neigung des unteren und oberen Durchmessers, sondern auch die wahre Neigung des Beckens, wie sie bei aufrechter Stellung im Leben gewesen war, unmittelbar zu bestimmen. Unter elf Becken, die er auf diese Weise zu untersuchen Gelegenheit hatte, hat er eines abgebildet, welches besonders wohlgebaut ist, und dessen Schwanzbeinspitze während des Lebens acht Linien über dem Schambogen lag und sich daher obigem Mittel sehr näherte.

Bei diesem Becken fand NAEGELE den Winkel des oberen Durchmessers mit dem horizontalen Fussboden = 60° (mit der aufrechten Wirbelsäule oder mit der Vertikalen = 150°), den Winkel des unteren Durchmessers mit dem horizontalen Fussboden = 11° (mit der aufrechten Wirbelsäule oder mit der Vertikalen = 101°).

Diese Untersuchungen von NAEGELE erstrecken sich, da sie in geburtshülflichem Interesse unternommen und in einer geburtshülflichen Anstalt ausgeführt wurden, ausschliesslich auf das weibliche Becken. Wir haben diese Untersuchungen auch auf männliche Individuen ausgedehnt, über deren Beckenneigung es noch ganz an Messungen fehlte.

Um den Winkel des unteren geraden Durchmessers (der von der Schwanzbeinspitze zum unteren Rande der Schamfuge gezogen wird) mit der Vertikalen oder mit dem horizontalen Fussboden bei lebenden Personen zu messen und in Graden auszudrücken, haben wir bei aufrechter Stellung nicht blos den Vertikalabstand eines dieser Punkte über dem anderen, sondern auch ihren Horizontalabstand gemessen. Diesen Horizontalabstand beider Punkte erhielten wir auf die Weise, dass wir die Senkel von jenen beiden Punkten gleichzeitig herabfallen liessen, und, nachdem sie in Ruhe gebracht waren,[1]) ihre Entfernung von einander mit einem horizontal angelegten Maassstabe bestimmten. Nachstehende Tabelle enthält die Resultate dieser Messungen.

Aus diesen Messungen erhält man für den Winkel, welchen der untere gerade Beckendurchmesser mit dem horizontalen Fussboden macht, einen Mittelwerth von 16° 51′ (für den Winkel desselben mit der Vertikalen also 106° 51′). Dürfte man diese geringe Zahl von Messungen zur Erlangung eines richtigen Mittelwerthes für zureichend halten, so würde daraus folgen, dass die mittlere Neigung des unteren Beckendurchmessers bei Männern und Weibern ziemlich gleich und eher bei ersteren grösser sei.

Um von dem Neigungswinkel des unteren geraden Durchmessers näherungsweise einen Schluss auf den des oberen machen zu können, würde

[1]) Um das störende Penduliren der Senkel zu vermeiden, kann man dieselben in ein darunter gesetztes Gefäss mit Wasser hinein hängen lassen, wodurch sie sogleich zur Ruhe kommen.

es nöthig sein, sich aus einer grossen Anzahl von Messungen an frischen Leichnamen[1]) den mittleren Werth des Winkels zu verschaffen, den beide Durchmesser des Beckens mit einander machen, und diesen zu dem erhaltenen Neigungswinkel zu addiren, wozu uns aber die nöthige Gelegenheit gefehlt hat. Bei dem durchsägten Becken Taf. VIII beträgt dieser Winkel 55°, bei einem anderen fanden wir ihn 43°. Nehmen wir nun das Mittel von 49° aus beiden Messungen, welches auch mit dem von Naegele aufgestellten Normalbecken übereinstimmt, einstweilen für den wahren Mittelwerth dieses Winkels, so würde der obere gerade Durchmesser bei Männern um 65° gegen den Fussboden, um 155° gegen die Längenlinie der Wirbelsäule geneigt sein.

Tabelle IV.

Messungen über die Neigung des Beckens am lebenden Menschen.

No.	senkrechter Abstand Millimeter	horizontaler Abstand Millimeter	Neigung des unteren geraden Durchmessers
1	10,0	84,5	6° 45′
2	10,7	75,7	8° 3′
3	12,0	70,0	9° 44′
4	12,7	70,0	10° 17′
5	14,0	74,7	10° 37′
6	19,7	80,5	13° 45′
7	21,0	76,0	15° 27′
8	23,0	77,5	16° 32′
9	29,5	85,0	19° 8′
10	26,3	70,0	20° 36′
11	28,5	73,5	21° 11′
12	36,5	83,0	23° 44′
13	36,4	79,0	24° 44′
14	33,0	71,0	24° 55′
15	33,3	64,5	27° 18′
Mittel	23,1	75,8	16° 51′

§ 51.

Messung der Neigung des Beckens am Skelete.

Bei lebenden Menschen setzten wir, um die Neigung des Beckens zu messen, voraus, dass sie aufrecht ständen. Beim Leichname oder Skelete kann man diese Voraussetzung nicht machen. Da aber die

[1]) An getrockneten Becken ist die Lage des Schwanzbeins theils durch das Schwinden der Bänder, theils dadurch, dass dieselben während des Trocknens auf die Schwanzbeinspitze gestellt zu werden pflegen, in der Regel nicht mehr die natürliche.

Linie, welche man vom Kopfgelenke zur Basis des Kreuzbeins, also durch beide Enden der Wirbelsäule ziehen kann, nach unseren Beobachtungen bei der aufrechten Lage des Rumpfes vertikal ist, so kann man diese Linie in jeder Lage des Körpers, also auch im Liegen, der bei aufrechter Lage des Körpers vertikalen substituiren, und gegen sie die Neigung des Beckens messen, vorausgesetzt, dass die Theile der Wirbelsäule ihre relative Lage behalten haben. Es giebt aber noch ein anderes Verfahren, jedem Becken, selbst wenn es vom Rumpfe getrennt ist, wenigstens näherungsweise diejenige Neigung zu ertheilen, die es hatte, als der Mensch aufrecht stand, und diese Neigung auch zu messen. Wir werden nämlich im folgenden Abschnitte über das Hüftgelenk nachweisen, dass das *ligamentum teres*, ein Band, welches von der Mitte des Schenkelkopfes durch die Höhle der Pfannen zum Einschnitt des Pfannenrandes, der *incisura acetabuli*, geht, bei aufrechter Stellung in der senkrechten Ebene liege, die durch die Centra beider Hüftgelenke geht. Das untere Ende des Bandes oder die *incisura acetabuli*, an der es entspringt, liegt daher bei dieser Lage des Rumpfes senkrecht unter der Drehungsaxe des Beckens und nimmt also die unterste Stelle am Pfannenrande ein. Stellt man daher das Becken so auf, dass die Incisur, namentlich ihr hinteres Ende, an welchem jenes Band vorzüglich befestigt ist, an der Pfanne zu unterst liegt, so hat das Becken die Lage, welche es einnahm, als der Mensch aufrecht stand. — Wir haben zur Probe an einer kleinen Anzahl theils getrockneter, theils macerirter Becken die Neigung nach dieser Methode bestimmt, welche Messungen mit den obigen ganz wohl übereinstimmen.

Tabelle V.

Messungen über die Neigung des Beckens an Skeleten.

No.	Neigungs-winkel	Bemerkungen
1	64° 0′	ausgewachsen, männlich
2	63° 30′	ausgewachsen, männlich
3	65° 0′	ausgewachsen, weiblich
4	60° 30′	ausgewachsen, weiblich
5	69° 0′	unausgewachsen
6	64° 0′	unausgewachsen
7	61° 0′	unausgewachsen
Mittel	63° 51′	

Die Bestimmung der wahren Neigung des Beckens, wie Naegele und wir sie gefunden haben, und welche etwa 20° bis 30° von den früheren Bestimmungen abweicht, ist für die Betrachtung des Gehens

vorzüglich darum von Wichtigkeit, weil die Drehung des Beins im Hüftgelenke (siehe § 47) nur innerhalb bestimmter Grenzen möglich ist. Durch eine andere Stellung des Beckens würden diese Grenzen verrückt werden, und es würde, wie wir im folgenden Abschnitte sehen werden, nach den älteren Angaben gar nicht möglich sein, die Beine beim Aufrechtstehen bis zur vertikalen Lage zu bringen oder beim Gehen sie weit nach hinten auszustrecken.

Dritter Abschnitt.

Ueber das Hüftgelenk.

§ 52.

Die Oberflächen des Schenkelkopfes und der Pfanne sind Kugelflächen von gleichem Halbmesser.

Das Hüftgelenk besitzt eine sehr grosse Festigkeit, so dass es den häufigen und heftigen Stössen, denen es ausgesetzt ist, zu widerstehen vermag. Es besitzt aber ausserdem eine besonders grosse Beweglichkeit nach allen Richtungen, die, mit jener Festigkeit verbunden, das Hüftgelenk vor allen Gelenken des Körpers auszeichnet. Man kann durch dieses Gelenk das Bein am Rumpfe, oder den Rumpf auf den Beinen, mit Leichtigkeit in grösseren Bögen nach allen Richtungen drehen und bewegen. Nun können zwei harte Körper, wie die Knochen sind, wenn sie sich mit grösseren Flächen berühren, sich nach mehreren Richtungen an einander nur dann verschieben, wenn die sich berührenden Flächen *Kugelflächen* sind, weil sie sich dann nicht um eine einzige Axe, sondern um *alle* durch den Mittelpunkt gehenden geraden Linien als Axen drehen lassen. Man nennt eine solche Vorrichtung, vermöge deren feste Körper sich mit Kugelflächen aneinander verschieben, eine *Nuss*. Sie ist die einfachste und vollkommenste Weise, steife Körper beweglich mit einander zu verbinden, deren gute Ausführung aber grosse Schwierigkeiten hat. Wir werden nachweisen, dass das Hüftgelenk eine wahre Nuss ist, welche von der Natur in sehr grosser Vollkommenheit ausgeführt worden ist.

Das Bein und der Rumpf würden sich nach allen Richtungen gegen einander drehen können, auch ohne mit vollkommenen Kugelflächen aneinander zu schliessen, wenn sie sich blos in einem Punkte berührten, und, wie Paletta behauptet, der Halbmesser des Schenkelkopfes kleiner als der der Pfanne wäre. Paletta behauptet nämlich in seiner Monographie dieses Gelenkes, dass der Schenkelkopf die Höhle der Pfanne

nicht erfülle, sondern kleiner als dieselbe sei und folglich ihre Wände nur in einem Punkte berühre. Der Schenkelkopf erfüllt aber wirklich den Pfannenraum völlig, und muss ihn erfüllen, wenn er nicht bei der Bewegung heftig gegen einige Punkte der Pfanne anstossen soll. Wir haben uns nicht allein davon auf verschiedenen Wegen bestimmt überzeugt, sondern werden auch später die Erscheinung nachweisen, durch welche Paletta sich hat täuschen lassen. — Um uns von der Form der Hüftgelenkflächen zu unterrichten, haben wir in den verschiedensten Richtungen Durchschnitte durch dieses Gelenk gemacht und stets gefunden, dass die Schnittränder der beiden Gelenkflächen Kreisbögen waren, und dass folglich die Flächen, denen sie angehörten, Kugelflächen sind. Wir haben aber auch gefunden, dass die ineinander gefügten Kugelflächen des Schenkelkopfes und der Pfanne, in welcher Richtung wir sie auch durchgeschnitten hatten, stets einander berührten und folglich Kugelabschnitte von gleicher Grösse oder gleichem Halbmesser sind. Wenn daher Paletta bei seinem Versuche, wo er das Hüftgelenk vom kleinen Becken aus aufbrach, einen vom Schenkelkopf nicht erfüllten Raum der Pfanne fand, so beweist das nicht sowohl, dass der Schenkelkopf für die Pfanne zu klein sei, sondern vielmehr, dass er ein Stück aus der Pfanne herausgewichen war und darum die Pfanne nicht erfüllte. Taf. IX, Fig. 2, ist der Abdruck der Schnittfläche eines senkrecht von hinten nach vorn durchsägten Hüftgelenkes, und giebt, wenn man bei demselben von kleinen Unvollkommenheiten absieht, welche durch das Reissen der Sägezähne in dem knorpeligen Ueberzuge entstanden sind, eine Vorstellung von der Gleichheit der Kugelgestalt beider Gelenkflächen. Die kleine, als eine weisse Linie erscheinende Spalte, welche zwischen beiden Schnitträndern derselben sichtbar ist, ist dadurch entstanden, dass, um beide Ränder sichtbar zu machen, der Kopf ein wenig aus der Pfanne herausgezogen worden war; sie verschwindet jedoch gänzlich, wenn man den Kopf in die Pfanne zurückbringt. Von der vollkommenen Gleichheit der Kugelgestalt der Pfannenhöhle und des Schenkelkopfes haben wir uns noch auf andere Weise durch folgenden Versuch überzeugt. Wir nahmen bei einem frischen Leichname den Schenkelkopf aus der Pfanne, und gossen sowohl diese als jenen in Gyps ab. Der Gypsabguss der Pfanne stellte alsdann eine solide, der des Schenkelkopfes eine hohle Halbkugel dar, die, wenn man die Unebenheiten entfernt hatte, welche durch die Grube der Pfanne und durch das Grübchen des Schenkelkopfes an ihren Abgüssen entstanden waren, so vollkommen ineinander passten, dass schon ein in die Höhle der künstlichen Pfanne gebrachtes Stückchen Papier den künstlichen Schenkelkopf merklich am Eindringen in dieselbe verhinderte. Dieser Versuch beweist darum sehr bestimmt, dass die Pfannen-

höhle und der darin befindliche Schenkelkopf Abschnitte gleich grosser Kugeln seien, weil, wenn die Pfanne grösser wäre als der Schenkelkopf, der Abdruck einer grösseren Kugelfläche in den einer kleineren eingebracht worden wäre, was nicht möglich ist. Das Schwinden des Gypses kann darum nicht gegen den Versuch angeführt werden, weil wir ihn auf dem Schenkelkopfe und auf der Pfanne selbst erhärten und trocknen liessen, auf denen er, durch den Druck der Atmosphäre angepresst, sich zusammenzog. Uebrigens ist noch zu bemerken, dass die Kugelflächen des Hüftgelenks nicht die Oberflächen der Knochen selbst sind, sondern die Oberflächen der Knorpel, welche sowohl den knöchernen Schenkelkopf als auch die knöcherne Pfanne überziehen, und bestimmt zu sein scheinen, die Erschütterungen, denen das Gelenk von unten her ausgesetzt ist, durch ihre Elasticität zu mässigen. Wenigstens finden wir, dass die Fasern, aus welchen sie zusammengesetzt sind, nicht parallel der Gelenkfläche, sondern, wie die Borsten einer Bürste, senkrecht gegen dieselbe gerichtet sind, und dass gerade da, wo der Druck zwischen beiden Flächen am grössten ist, auch der knorpelige Ueberzug der Kugel sowohl als der Pfanne, am dicksten ist, und von da gegen den Rand hin an Dicke abnimmt, wovon man sich an den Durchschnitten des Gelenks überzeugt.

§ 53.

Der Schenkelkopf wird nicht vom Rande der Pfanne zurückgehalten.

Die Kugelflächen einer in unseren Werkstätten gearbeiteten Nuss werden dadurch aneinander festgehalten, dass das hohle Kugelsegment, oder die Pfanne, wenigstens in *einer* Richtung mehr als 180° der Kugel umspannt, wodurch die Oeffnung derselben so verengt wird, dass die letztere mit ihrem grössten Umfange nicht heraus kann. An der von dem Hüftgelenke gebildeten Nuss ist *kein* Bogen von den auf der Pfannenfläche gezogenen grössten Kreisen grösser, sondern alle, mit einer Ausnahme, kleiner, als der Halbkreis oder 180°. Man überzeugt sich davon, wenn man das Gelenk in verschiedenen Richtungen, jedoch stets so durchschneidet, dass der Schnitt durch den Mittelpunkt der Kugelflächen geht. In der Richtung von hinten nach vorn, in welcher die Gelenkfläche die grösste Ausdehnung besitzt, bildet der Schnittrand (siehe Taf. IX, Fig. 2) eben nur einen Halbkreis; in jeder anderen Richtung, in welcher man sonst die Pfanne durchsägen mag, findet man ihren Umfang stets kleiner als 180°. Die Pfanne ist daher nicht im Stande, den Schenkelkopf zurückzuhalten.

§ 54.

Vertiefungen in der Pfanne und im Schenkelkopfe zur Aufnahme des ligamentum teres.

Die Oberfläche der Pfanne weicht von der Kugelform nur an einer Stelle ab, wo sie eine Vertiefung bildet, welche vom untersten Punkte des Pfannenrandes aufwärts bis zur Mitte der Pfanne reicht. Die ganze Vertiefung heisst die Pfannengrube, *fovea acetabuli*, ihr äusserstes Ende am Pfannenrande die *incisura acetabuli*. Diese Vertiefung, welche dadurch entsteht, dass der knöchernen Pfanne der knorpelige Ueberzug fehlt, und sie selbst eine Grube bildet, ist mit Gelenkfett erfüllt, so dass ungeachtet der Schenkelkopf in dieselbe nicht eindringt, doch in der Pfanne nirgends ein leerer Raum ist. Durchsägt man das Hüftgelenk in der Mitte senkrecht von einer Seite zur anderen, so wird die Grube ihrer Länge nach durchschnitten. In Taf. IX, Fig. 1, welche ein solcher Durchschnitt des Hüftgelenks ist, sieht man die Grube von *a* senkrecht nach *b* heraufsteigen, und erst von da an den Pfannendurchschnitt kreisförmig begrenzt. Der Pfannengrube gegenüber befindet sich mitten in der Gelenkfläche des Schenkelkopfes ein ähnliches aber kleineres Grübchen, in welchem gleichfalls die knorpelige Decke durchbohrt ist, und auch der Knochen eine Vertiefung hat. In diesem Grübchen ist das Ende eines Bandes, des *ligamentum teres* (siehe § 61), befestigt, welches senkrecht herabhängt und mit dem anderen Ende am Rande der *incisura acetabuli* befestigt ist.

§ 55.

Das labrum cartilagineum leistet die Dienste eines Ventils.

Die kugelförmige Oberfläche der Pfanne erhält dadurch noch eine Vergrösserung, dass der Rand der Pfanne nicht frei, sondern mit einem beugsamen Rande, *labrum cartilagineum*, versehen ist, der vermöge seiner Elasticität sich überall dicht an die Oberfläche des Schenkelkopfes anlegt. Dieser elastische Rand ist nicht ein vorspringender Theil und Fortsatz des knorpeligen Ueberzugs der Pfanne, vielmehr besteht er aus einem eigenthümlichen, faserknorpeligen Gewebe, dessen sehnenartige Fasern nicht normal, sondern parallel dem Pfannenrande laufen, und lässt sich daher, wo er mit dem Knorpel zusammenhängt, vollkommen von ihm lostrennen; unten aber, wo der Knorpel und der knöcherne Rand der Pfanne von der *incisura acetabuli* durchschnitten sind, geht dieser elastische Ring ununterbrochen über diesen Einschnitt hinweg, den er dadurch in ein enges Loch verwandelt. Dieser elastische Ring hat drei Kanten, deren zwei dem Pfannenrande zugekehrt und mit ihm

fest verwachsen sind. Die dritte Kante ist von ihm abgewendet und scharf, und schliesst den Schenkelkopf ringsum eng ein. Sie verhindert, wie ein Ventil, das Eindringen der äusseren Flüssigkeit und der äusseren Membranen in den inneren Raum der Pfanne, und wird durch den Druck derselben, so wie durch die eigene elastische Kraft des Ringes ringsherum mit dem Schenkelkopf in steter Berührung erhalten.

§ 56.

Die Synovialhaut verschliesst und befeuchtet das Hüftgelenk.

Die Pfanne und der Schenkelkopf sind da, wo sie sich einander berühren und aneinander bewegen, ausser dem knorpeligen Ueberzuge mit einer äusserst glatten und gefässlosen Membran, der Synovialhaut, überzogen, welche, indem sie vom Schenkelhalse zum knöchernen Pfannenrande hinübergeht, einen allenthalben geschlossenen Sack bildet, dessen eine den Schenkelkopf und seinen Hals überziehende Hälfte in die andere, welche theils frei ist, theils die Pfanne und den Knorpelrand überzieht, so hineingestülpt ist, dass zwischen beiden Hälften nur wenig Zwischenraum bleibt. Nur der die Gelenkflächen selbst überziehende Theil des Synovialsackes ist gefässlos, der freie Theil desselben, so wie auch die Falten und Duplikaturen am Schenkelhalse und in der Pfannengrube sind mit einem sehr feinen und dichten Gefässnetze versehen, welches in die Höhle des Sackes eine äusserst schlüpfrige Gelenkschmiere, *synovia*, absondert, und damit die sich aneinander verschiebenden Gelenkflächen fortwährend befeuchtet. Dieser gefässreiche Theil der Synovialhaut ist sammetartig mit sehr feinen, zottenförmigen Fältchen besetzt, die sich auch hier und da selbst am freien Rande des *labrum cartilagineum* finden und den Zweck zu haben scheinen, die absondernde Oberfläche zu vergrössern. Zu gleichem Zwecke dienen wohl auch die kleinen beutelförmigen Verlängerungen, die an vielen Stellen, wo die Synovialhaut an den benachbarten Knochen angewachsen ist, namentlich zwischen den Falten derselben am Halse, münden und zwischen den Fasern der die Synovialhaut bedeckenden Kapselmembran nach aussen gestülpt sind. — Bisweilen hängt, wie wir selbst mehrmals gefunden haben, der grosse Schleimbeutel des *musculus iliacus* offen mit dem Synovialsack des Hüftgelenks zusammen.

§ 57.

Verbindung des Beckens mit dem Schenkelbeine durch die Kapselmembran.

Das Becken und das Schenkelbein werden durch starke Sehnenbündel mit einander zusammengehalten, die aber nicht einzelne von einander getrennte und abgegrenzte Bänder bilden, sondern zu einer

zusammenhängenden, sehr beugsamen Membran, der Kapselmembran, verwachsen sind, welche auf ihrer inneren Seite von der Synovialhaut überzogen ist. Sie geht vom knöchernen Pfannenrande zum Schenkelhalse, und umschliesst, ausser dem Gelenke selbst, noch das *labrum cartilagineum* und einen grossen Theil des Schenkelhalses. Die Kapselmembran ist am Schenkelhalse wie am Pfannenrande nicht allenthalben gleichmässig, sondern nur an einzelnen Stellen befestigt, am Schenkelhalse nur oben und vorn, so dass ihr unterer und hinterer Rand ganz frei ist, und man von ihm aus in die Höhle der Kapselmembran, ohne ihre Fasern zu durchschneiden, eindringen kann; am Pfannenrande ist sie zwar ringsherum, aber an einzelnen Stellen sehr stark, an anderen sehr schwach befestigt, indem die meisten Sehnenfasern nach jenen Stellen zu dicken Bündeln zusammenlaufen, so dass nur wenige übrig bleiben, die dazwischen eine dünne Wand bilden. Diese Struktur der Kapselmembran ist in mehreren Beziehungen wichtig, insbesondere ist für die genauere Kenntniss der Verrichtungen des Gelenks und für die Lehre von den Verrenkungen eine genauere Unterscheidung der Theile der Kapselmembran nothwendig, welche weniger, und derer, welche mehr gebraucht und angestrengt werden und darum leichter oder schwerer zu zerreissen sind. Wir wollen daher die Vertheilung der Sehnenfasern an dieser wichtigen Membran genau erörtern.

§ 58.

Dünne Stellen der Kapselmembran.

Da das Hüftgelenk in gewissen Richtungen besonders heftigen Stössen ausgesetzt ist, durch die es ausgelenkt werden könnte, so ist die Kapselmembran, die diese Auslenkung verhindern soll, in diesen Richtungen besonders stark und fest. Andere Stellen der Kapselmembran, welche dergleichen heftigen Stössen gar nicht, oder sehr selten ausgesetzt sind, sind sehr dünn. Aber gerade diese dünnen Stellen sind es, welche, wenn das Gelenk solche Stösse in ungewöhnlichen Richtungen erfährt, nachgeben, und zu Verrenkungen des Gelenks Anlass geben. Solcher dünnen Stellen hat die Kapselmembran drei, welche alle in der Nähe des Pfannenrandes und auf der unteren Seite des Gelenks liegen. Die mittlere liegt zu unterst, dicht an der Incisur der Pfanne und ist daher leicht zu finden. Die zweite liegt von dieser nach vorn und ist von ihr durch ein starkes Sehnenbündel getrennt, welches von der Stelle des Pfannenrandes kommt, an welche die untere scharfe Kante des oberen Schambeinastes grenzt; die dritte endlich liegt von derselben nach hinten und ist von ihr durch ein ähnliches

starkes Sehnenbündel getrennt, welches zwischen dem Pfannenrande und der Rinne des Sitzbeins angewachsen ist, in welcher der *musculus obturator externus* hin und her gleitet.

§ 59.

Ligamentum superius.

Das dickste Band der Kapselmembran ist das vordere obere Band, das zwar innig mit den übrigen Theilen der Kapselmembran verwachsen ist, aber wegen der Wichtigkeit seiner Verrichtungen, und weil es unseren Messungen zu Folge das *dickste* Band des menschlichen Körpers, sogar dicker als das Kniescheibenband und als die Achillessehne ist, als ein besonderes Band betrachtet werden muss. Es heisse *ligamentum superius* oder das *obere Band.* Dieses Band bedeckt die ganze obere und vordere Seite des Schenkelhalses, hat die Gestalt eines Dreiecks, dessen einer Winkelpunkt über dem oberen Theile des Pfannenrandes, dicht unter der *spina anterior inferior* des Beckens, liegt und fest gewachsen ist, und dessen gegenüberliegende Seite zwischen dem Schenkelhalse und dem *trochanter major* und von da abwärts längs der *linea intertrochanterica anterior* befestigt ist. Schneidet man es an seiner Ursprungsstelle am Becken durch, so zeigt dasselbe eine dreieckige Schnittfläche und ist 9 bis 14 Millimeter dick. Diese ungewöhnlich grosse Dicke des Bandes nimmt nun zwar nach aussen, wo es sich über den Schenkelkopf und Schenkelhals ausbreitet, beträchtlich ab; aber selbst auf der Mitte zwischen beiden Ansatzpunkten ist es immer noch dicker, als die Achillessehne und das Kniescheibenband an deren dicksten Stellen. Bei einem 22jährigen Mädchen war es über dem freien Rande des *labrum cartilagineum,* also in einer nicht ganz unbeträchtlichen Entfernung vom Ansatzpunkte $5\frac{1}{4}$ Millimeter, die Achillessehne aber an ihrer dicksten Stelle nur $4\frac{1}{2}$ Millimeter dick. Bei einem Manne war es in seiner Mitte 8 Millimeter, das Kniescheibenband dagegen nur $4\frac{1}{2}$ Millimeter, die Achillessehne $6\frac{2}{3}$ Millimeter dick. Bei dieser grossen Stärke darf man erwarten, dass jeder andere Theil der Kapselmembran eher zerreissen wird, als dieses Band, und dass selbst die Knochen eher nachgeben müssen.

§ 60.

Das Ringband des Schenkelkopfes, zona orbicularis.

Auf ähnliche Weise, wie am Arme das Köpfchen des Radius, so wird auch am Beine der Kopf des Oberschenkels von einem Ringbande umgeben. Nur unterscheidet sich dieses Ringband des Schenkelkopfes nicht so sehr als dort von der Kapselmembran. Nicht die ganze Band-

masse, welche unter der *spina anterior inferior* ihren Ursprung nimmt, geht nämlich als *ligamentum superius* zum Schenkelbeine hinüber, sondern sobald dieselbe den Rand der Schenkelkopffläche erreicht hat, geht ein Theil davon auf diesem Rande in zwei Schenkeln nach vorn und hinten ringförmig um den Schenkelkopf herum. Beide Schenkel gehen auf der unteren Seite jenes Randes ineinander über, ohne am Schenkelkopfe selber befestigt zu sein, und bilden daher zusammen ein einziges Ringband, das unter der *spina anterior inferior* entspringt und um den Schenkelkopf herum dahin wieder zurückgeht. Wir nennen dieses Band die *zona orbicularis* oder das Ringband des Schenkelkopfs. Man kann den Verlauf seiner Fasern durch die Synovialhaut hindurch deutlich beobachten, wenn man die Kapselmembran vom Pfannenrande trennt und durch das *ligamentum superius* so weit spaltet, dass man sie über den Schenkelhals zurückschlagen kann. Zu diesem Ringbande gehen vom Pfannenrande aus noch zwei Verstärkungsbündel, welche schon im vorigen Paragraphen erwähnt worden sind. Das eine geht von der Stelle des Randes, wo an ihn die untere Kante des oberen Schambeinastes grenzt, nach vorn, das andere, welches von der Stelle des Randes kommt, wo der *musculus obturator externus* in einer Rinne des Sitzbeins hin und her gleitet, spaltet sich in zwei Schenkel, die in entgegengesetzter Richtung zum Ringbande gehen.

§ 61.
Ligamentum teres.

Ausser der Kapselmembran, welche das Hüftgelenk von aussen her umschliesst und zusammenhält, besitzt dasselbe noch ein Band, das *ligamentum teres*, welches vom Grübchen auf der Mitte des Schenkelkopfs zum Ausschnitt der Pfanne, Taf. II, Fig. 1 von *b* nach *a*, herabhängt. Sein unteres Ende *a* befestigt sich im ganzen Umfange dieses Ausschnitts, besonders am hinteren Horne desselben, und verschliesst das von ihm und von seinem Bande gebildete Loch, so dass man durch dieses Loch nicht in die Gelenkhöhle selbst, sondern nur in das Innere des Bandes gelangen kann, welches an seinem Ursprunge hohl ist. Das Band geht mitten durch die Höhle der Pfanne, und ist auf diesem Wege von einer rings geschlossenen Scheide der Synovialhaut überzogen. Bei diesem Verlaufe zwischen beiden Gelenkflächen herab würde das *ligamentum teres* die Berührung beider Flächen verhindern und selbst zwischen ihnen geklemmt werden, wenn sich nicht da, wo es herabhängt, in der Oberfläche der Pfanne die Grube befände, die wir § 54 beschrieben haben. Die Pfannengrube, welche, wie man im Durchschnitte Taf. IX, Fig. 1 sieht, von der *incisura acetabuli* (wo das *ligamentum teres* entspringt) bis zur Mitte der Pfanne, dem Grübchen des

Schenkelkopfs gegenüber (wo das *ligamentum teres* endigt) reicht, dient also dazu, das *ligamentum teres* aufzunehmen, und die Bewegungen, die es bei der Verschiebung beider Gelenkflächen machen muss, zu gestatten, auch wenn letztere sich berühren. In dieser Grube ist nirgends ein leerer Raum; denn der vom *ligamentum teres* leer gelassene Raum ist von Gelenkfett erfüllt, das durch seine Geschmeidigkeit dem Bande immer ausweicht, und den Raum erfüllt, den jenes verlassen hat.

Ueber den Nutzen des *ligamentum teres* sind häufig darum unrichtige Meinungen aufgestellt worden, weil man seine wahre Lage am Körper nicht kannte, was wieder daher rührte, dass man dem Becken bei aufrechter Stellung eine zu geringe Neigung gegen den Horizont zuschrieb. Alle Anatomen, welche sich hierüber geäussert haben, bis auf die neueste Zeit, nehmen an, die *incisura acetabuli,* an deren Rande das *ligamentum teres* befestigt ist, steige bei aufrechter Stellung des Rumpfes in einer *schiefen* Richtung nach hinten und oben zum Schenkelkopfe empor. Winslow sagt z. B. in seiner *Anatomie Tom.* I, § 601: „Die Incisur hat ihre Lage genau zwischen dem vorderen und hinteren Theile des Randes der Gelenkgrube", und an einer anderen Stelle: „Die Lage der Incisur bei aufrechter Stellung ist schief". Diese Behauptung scheint aber auf keinen Beobachtungen zu beruhen, wenigstens werden dieselben nirgends erwähnt.

Naegele hat in seiner Schrift über das weibliche Becken durch Messungen nachgewiesen, dass bei aufrechter Stellung der obere gerade Durchmesser des weiblichen Beckens im Mittel eine Neigung von 60° gegen den Horizont habe. Wir haben durch ähnliche Messungen an einer Anzahl lebender Männer (siehe § 50) dargethan, dass die Neigung des männlichen Beckens wenigstens nicht geringer sei. Um uns daher von der Lage zu unterrichten, welche das *ligamentum teres* beim aufrechtstehenden Menschen habe, haben wir Becken von frischen Leichnamen mit den daran befindlichen Beinen in die aufrechte Stellung gebracht, indem wir ihnen jenen Neigungswinkel ertheilten, und haben dieselben in der senkrechten Ebene durchsägt, welche durch die Mitte beider Schenkelköpfe geht. *Durch diesen senkrechten, durch die Mitte beider Schenkelköpfe oder ihrer beiden Pfannen gehenden Schnitt des aufrecht stehenden Beckens wurde das ligamentum teres seiner Länge nach gespalten,* so dass beide Hälften des Schenkelkopfes durch dasselbe noch an der Pfanne hingen, auch wenn die Kapsel ringsherum durchschnitten war.[1]) Es geht aus diesem Versuche hervor, dass das *liga-*

[1]) Man kann mit grösserer Leichtigkeit den Versuch so anstellen, dass man das Becken durch die Mitte des Kreuzbeines und der Schamfuge halbirt und das halbirte Becken mit seinem Schenkelbeine in der richtigen Lage auf einem Brette befestigt und nun den Schnitt senkrecht gegen das Brett macht.

mentum teres vom Grübchen des Schenkelkopfes *senkrecht* zur *incisura acetabuli* herabsteige, und dass folglich diese, an die es befestigt ist, selbst *zu unterst* am Pfannenrande liegen müsse. — Diesen Satz, der für die Lehre vom Becken, wie für die vom Hüftgelenke von gleicher Wichtigkeit ist, ohne den man insbesondere keine richtige Vorstellung vom *ligamentum teres* erhalten kann, haben wir vielfach geprüft und ausser allen Zweifel gesetzt. Auf Taf. II, Fig. 1 sieht man die Zeichnung eines solchen Beckendurchschnitts. Dieser Durchschnitt ist bei aufrechter Stellung des Beckens genau senkrecht, jedoch, um die beiden Bänder zu schonen, statt durch die Pfannenmittelpunkte selbst, dicht vor ihnen vorbei geführt worden.

§ 62.
Verrichtung des Bandapparats des Hüftgelenks.

Der Bandapparat des Hüftgelenks dient nicht nur dazu, die Gelenkfläche vor Verrenkung durch äussere Kräfte zu schützen, sondern auch dazu, die Beweglichkeit des Gelenks auf den Umfang einzuschränken, der für seine Verrichtungen nothwendig ist. Wir wollen diese Beschränkungen des Gelenks in denjenigen Richtungen, in welchen sie für das Gehen und Laufen von Wichtigkeit sind, genauer erörtern.

Die Streckung des Hüftgelenks wird durch die Spannung der gesammten Kapselmembran gehemmt. Die Kapselmembran des Hüftgelenks bildet, wie wir gesehen haben, ein Ringband, welches den Schenkelkopf wie ein Halsband umfasst, und auf seiner oberen und unteren Seite durch mehrere Bänder an dem Pfannenrande fest gehalten wird. Dieser Ring gestattet dem Schenkelkopfe keine solche freie Drehung, wie der Ring des Radius dem letzteren gestattet, weil er gar nicht mit ihm verwachsen ist. Der Ring des Schenkelkopfes ist vielmehr mit dem *ligamentum superius* verwachsen, das selbst wieder am Schenkelhalse festsitzt, und ist dadurch genöthigt, dem letzteren bei seinen Drehungen in der Pfanne zu folgen. Der ganze Sack der Kapselmembran, durch welchen der Ring an den Pfannenrand befestigt ist, erleidet daher, wenn der Schenkel gestreckt wird, eine Torsion, wodurch die Kapselmembran sich verkürzt und beide Gelenkflächen fester zusammenpresst. Diese Torsion wächst mit der Streckung in dem Grade, dass sie zuletzt die Fortsetzung dieser Bewegung gänzlich verhindert. Je mehr daher das Hüftgelenk gestreckt wird, um so fester werden seine beiden Gelenkflächen aneinander gedrückt, und um so schwerer kann also ihre Verrenkung erfolgen.

Die Adduktion wird durch das ligamentum superius und durch das ligamentum teres beschränkt. Wenn man aufrecht steht und die Beine einander zu nähern sucht, so bemerkt man, dass man zwar beide Knie

zur Berührung bringen, aber, ohne sie zu beugen, nicht fest aneinander pressen kann, dass dieses aber sogleich mit grosser Leichtigkeit geht, sobald man das Hüftgelenk etwas beugt. Der Umfang der Adduktion ist nämlich in der gebogenen Lage des Hüftgelenks grösser, so dass die Beine alsdann nicht nur völlig einander genähert, sondern auch über einander geschlagen und gekreuzt werden können. Sie wird aber bei zunehmender Streckung immer kleiner, und geht bei aufrechter Stellung sehr wenig über die senkrechte Lage des Beins hinaus. Diese Beschränkung der Adduktion in der gestreckten Lage des Körpers wird durch zwei Bänder, das *ligamentum superius* und das *ligamentum teres* bewirkt, die sich am Hüftgelenke diametral gegenüber liegen. Es ist dieses an einem Durchschnitt des Beckens deutlich, der, wie Taf. II, der Ebene parallel ist, in welcher jene Bewegung geschieht. Man sieht alsdann, dass beide Bänder parallel der Durchschnittsebene, das *ligamentum teres* von *a* nach *b*, das *ligamentum superius* von *c* nach *d*, laufen, und beide nur durch die Annäherung der Knochen in dieser Ebene gespannt werden können. Zugleich überzeugt man sich, dass das *ligamentum teres* nicht, wie viele glauben, dazu dienen könne, den Kopf in der Pfanne zurückzuhalten; denn da sich das Band am Becken in *a*, am Schenkelkopfe in *b* befestigt, so kann dasselbe durch Herabsinken des Schenkelkopfs nur schlaffer werden und könnte die Bewegung des Schenkelkopfs erst aufhalten, wenn *b* in *b'* angekommen, derselbe also fast um die doppelte Länge des Bandes herabgesunken wäre. Die Beschränkung der Adduktion des Schenkels oder der seitlichen Beugung des Hüftgelenks, welche von dem *ligamentum teres* und dem *ligamentum superius* herrührt, ist darum für das Gehen von grosser Wichtigkeit, weil der Schwerpunkt des Körpers, welcher in die Mitte zwischen beide Schenkelköpfe fällt, bei dieser Bewegung bald von dem einen, bald von dem anderen Kopfe allein unterstützt und alsdann nur theilweise getragen wird; der nicht getragene Theil der Körperlast würde daher den Rumpf nach innen und unten um den Schenkelkopf drehen, und folglich fallen, wenn nicht jene Bänder durch ihre Spannung diese Drehung verhinderten.

§ 63.

Messung des Umfangs der Bewegungen des Hüftgelenks.

Um den Umfang der Bewegungen des Hüftgelenks am frischen Skelete zu messen, durchsägten wir, nachdem die Muskeln des Oberschenkels, ohne das Gelenk zu verletzen, entfernt worden waren, das Becken durch die Schamfuge und die Mitte des Kreuzbeins, und befestigten die Hälfte desselben mit der Schnittfläche auf einem horizontalen unbeweglichen Brette. Da bei dieser Lage der Theile die Beugung

oder Streckung des Oberschenkelbeins gegen das Becken in einer horizontalen Ebene geschah, so konnten wir den Bogen, den er dabei beschrieb, auf ähnliche Weise wie § 44 mit Hülfe der Magnetnadel messen. Die Adduktion oder Abduktion, durch welche sich beide Beine einander nähern oder von einander entfernen, und die Rotation, wobei sie sich um sich selbst drehen, geschahen bei der Lage, die wir dem Becken gegeben hatten, in vertikaler Ebene. Wir maassen sie daher mit Hülfe eines getheilten Kreises, der in seinem Mittelpunkte mit einem Senkel, und an zwei Punkten seines Durchmessers mit zwei gleichen Vorsprüngen versehen war, die bei jeder Lage des Schenkels mit den nämlichen Punkten desselben in Berührung gebracht werden konnten. Mit diesem Kreise wurde der Winkel gemessen, den die durch die beiden berührten Punkte des Schenkelbeins gehende gerade Linie in der grössten Abduktion und Adduktion mit der Vertikalen machte. Der Unterschied dieser Winkel ergab den Drehungswinkel des Schenkels in vertikaler Ebene. Um die Rotation zu messen, wurde das Schenkelbein senkrecht durchbohrt, ein Stäbchen durch das Bohrloch geschlagen, und die beiden Vorsprünge des Kreisdurchmessers an zwei Punkten des Stäbchens jedes Mal angelegt. Wir konnten auf diese Weise die Adduktion oder Abduktion sowohl als die Rotation messen, deren das Schenkelbein auch bei verschiedenen Graden der Beugung und Streckung fähig war. Bei einem Leichname, an dem wir diese Messungen machten, fanden wir den Umfang

der Beugung oder Streckung zu	139°,
der Adduktion oder Abduktion zu	90°,
der Rotation zu	51°.

Den Umfang der Beugung und Streckung haben wir an lebenden Menschen, § 47, gemessen, wo er aber viel geringer, im Mittel nur 86° war. Der Unterschied beider Messungen scheint daher zu rühren, dass die Muskeln das Hüftgelenk nie so weit beugen, als es der Mechanismus des Gelenks verstattet, und dass die weichen Theile, welche im Leben die weitere Beugung verhinderten, am Skelete entfernt waren. Die Adduktion oder Abduktion, sowie auch die Rotation, haben ihren grössten Umfang in der halbgebogenen Lage des Gelenks, für welche die obigen Angaben gelten, und nehmen von hier aus ab, je mehr das Gelenk sich streckt, und verschwinden bei völliger Streckung ganz.

§ 64.

Aequilibrirung des Beins im Hüftgelenke durch den Druck der atmosphärischen Luft.

Nachdem wir die Einrichtung aller Theile des Hüftgelenks im Einzelnen und in ihrer Verbindung mit einander kennen gelernt haben,

wollen wir endlich noch eine Anforderung betrachten, die an dieses Gelenk gemacht werden muss, wenn es seine Dienste beim Gehen und Laufen erfüllen soll. Diese Anforderung besteht darin, dass das Bein, wenn es, vom Boden erhoben, am Rumpfe hängt, dem Antriebe seiner eigenen Schwerkraft frei folgen und regelmässig, wie ein Pendel, schwingen könne. Diese schwingende Bewegung des Beins, während es am Rumpfe hängt, ist bei jedem Schritte nothwendig, und wenn die Schwerkraft sie nicht bewirken könnte, so müssten Muskelkräfte dazu gebraucht werden, was aber nicht allein eine grosse Anstrengung verursachen, sondern auch, um das Gehen und Laufen mit der zur Sicherheit nothwendigen Gesetzmässigkeit auszuführen, eine Kunst erfordern würde, die der Mensch beim schnellen Gebrauch seiner Muskeln nicht hat und nicht erwerben kann. Jene Anforderung hat die Natur erfüllt. Betrachten wir das Bein von aussen, so scheint dessen Bau im Ganzen dieser Forderung nicht günstig zu sein, das Bein nimmt nämlich von unten nach oben immer an Dicke zu, und hängt daher in einer sehr grossen Fläche mit dem Rumpfe zusammen, an dem es sich drehen soll. Aber die Muskeln, welche oben das Bein so dick machen, und nothwendig sind, wenn das Bein aufstehend die Last des Körpers tragen und fortbewegen soll, und die alsdann durch ihre Steifigkeit jede Drehung des Rumpfes gegen das Bein verhindern, die sie nicht selbst hervorbringen, brauchen nicht immer so steif zu sein. Der Zustand der Muskeln wechselt im Leben zwischen äusserster Steifigkeit und äusserster Nachgiebigkeit viel mehr noch, als nach dem Tode. Auch nach dem Tode ist der Unterschied der Muskeln während der Todtenerstarrung und nach derselben sehr gross; im Leben aber können die Muskeln *einerseits* bei heftiger Anstrengung für kurze Zeit eine Steifigkeit und Festigkeit erlangen, die viel grösser ist, als *während* der Todtenerstarrung, und sie den Knochen vergleichbar macht; *andererseits* übertrifft ihre Nachgiebigkeit im lebenden Zustande, bei vollkommener Erschlaffung, eben so sehr ihre Nachgiebigkeit *nach* der Todtenerstarrung, und diese vollkommene Erschlaffung wird wirklich in den das Bein mit dem Rumpfe verbindenden Muskeln eintreten müssen, wenn jenes an diesem beim Gehen und Laufen herabhängt, weil dieselben von der heftigen Anstrengung der unmittelbar vorausgegangenen Streckung ausruhen müssen, vorausgesetzt, dass das Bein nicht etwa dann von den Muskeln selbst getragen werden müsse. — Das Bein besitzt ferner die dickste und festeste Kapselmembran von allen Gelenken des Körpers; aber diese Kapsel befestigt sich dem grösseren Theile ihres Umfangs nach nicht an das Schenkelbein, sondern bildet um seinen Gelenkkopf einen Ring, in welchem sich derselbe, wie in einem Halsbande, dreht. — In keinem Gelenke des Körpers endlich sind die

Berührungsflächen so gross, als im Hüftgelenke, und man sollte daher erwarten, es werde mehr als alle anderen Gelenke von der Reibung zu leiden haben; aber gerade die Grösse dieser Gelenkflächen ist das Mittel, dessen die Natur sich bedient hat, alle Reibung von den Gelenkflächen zu entfernen. Es braucht nämlich eine so grosse Reibung auch bei so grossen Flächen *nicht nothwendig* Statt zu finden, da sie vom Drucke abhängt, welcher die beiden Flächen zusammenpresst, und mit diesem Drucke zusammen *verschwinden kann.* Die einzige Schwierigkeit, das Bein am Rumpfe so zu befestigen, dass es ihm als Stütze dienen und dann auch, wie ein Pendel, schwingen könne, liegt daher *in dem grossen Gewichte des Beins,* welches da, wo es hängt oder aufliegt, eine starke Spannung oder Reibung erzeugen zu müssen scheint. Es sind nun darüber, wie dieses Gewicht getragen werde, sehr verschiedene Meinungen aufgestellt worden, nach denen allen aber immer wenigstens *ein* beträchtliches Hinderniss der Drehung des Beins durch seine Schwerkraft entgegenstehen bleibt. Einige haben angenommen, dass die *Muskeln* das Bein in seiner Pfanne zurückhielten; aber die Muskeln würden, wenn sie eine so grosse Last tragen sollten, sich anspannen müssen, und dadurch steif und unbeugsam werden. Andere haben gemeint, es seien die *Bänder*, die das Bein trügen; aber, — abgesehen davon, dass die Bänder zu lang sind und durch das Gewicht des Beins sogar noch verlängert werden würden, so dass der Schenkelkopf aus der Beckenpfanne herausfiele, mit der er doch in der That stets in Berührung bleibt, — müssten die gespannten Bänder, weil sie auf einen grossen Querschnitt (im Umkreise der Kapselmembran) vertheilt sind, die Drehung des Beins sehr hemmen, wenn auch nicht in dem Maasse, wie die gespannten Muskeln. Noch andere haben gemeint, dass, wie bei einer künstlichen Nuss, die Kugel des Hüftgelenks von ihrer Pfanne und deren knorpeligem Rande getragen werde, wo dann aber der Schenkelkopf mit der ganzen Last des Beins auf dem Rande der Pfanne aufliegen, und dadurch eine so starke Reibung erzeugen würde, dass eine regelmässige Schwingung des Beins unmöglich wäre. Es lässt sich auf dem Wege der Erfahrung nachweisen, dass keine dieser Meinungen die richtige ist, sondern, dass das Bein von einer ganz anderen Kraft getragen wird, durch die alle Schwierigkeiten, die sonst eine bewegliche Aufhängung findet, gehoben sind — nämlich *von dem Drucke der atmosphärischen Luft.* Folgende Versuche haben dazu gedient, diese Thatsache über alle Zweifel zu erheben.

Erster Versuch. Eine horizontale Tafel wurde etwas höher, als die Beine lang sind, über dem Fussboden aufgestellt. Auf diese Tafel wurde ein Leichnam mit der vorderen Seite seines Rumpfes aufgelegt, so dass das Becken über den Rand der Tafel hinausreichte, und die

Beine von dem Becken frei herabhingen. Nun wurden *sämmtliche Muskeln* durchschnitten, welche das Bein mit dem Rumpfe verbinden. Wären es die Muskeln gewesen, welche das Bein trugen, so hätte das Bein herabfallen müssen, nachdem die Muskeln durchschnitten waren, so weit nämlich, bis eine andere Unterstützung statt der Muskeln einträte, etwa bis die Bänder gespannt würden. Das Bein fiel aber *gar nicht* herab, sondern blieb vollkommen in seiner früheren Lage, wo die Kugelfläche des Schenkelkopfes die der Pfanne berührte. Es liess sich das daran erkennen, dass man nicht nur kein Herabfallen wahrnahm, sondern auch den Kopf nicht wieder in entgegengesetzter Richtung gegen die Pfanne bewegen konnte, und dass derselbe sich, wie zuvor, vollkommen gleichmässig in seiner Pfanne drehte. *Das schwebende Bein hängt also nicht an den Muskeln, welche es mit dem Rumpfe verbinden; weil es nicht allein hängen bleibt, nachdem die Muskeln durchschnitten sind, sondern auch nicht einmal in seiner Lage die geringste Verrückung erleidet.*

Zweiter Versuch. Nachdem die Muskeln, welche das Bein mit dem Rumpfe verbinden, durchschnitten waren, wurde ferner auch die *Kapselmembran*, welche gleichfalls das Bein mit dem Rumpfe verbindet, durchschnitten, und zwar im ganzen Kreise rings um das Bein. Wäre es die Kapselmembran gewesen, welche das Bein trug, so hätte das Bein herabfallen müssen, nachdem die Kapselmembran rings durchschnitten war, entweder ganz, oder so weit, bis eine andere Unterstützung statt der Kapselmembran eingetreten wäre, etwa so weit, bis das Bein auf den unteren Rand der Pfanne herabgefallen wäre. Das Bein fiel aber *gar nicht* herab, sondern behielt vollkommen seine frühere Lage, wobei sich die Kugelflächen des Schenkelkopfes und der Pfanne berührten, was sich auf dieselbe Weise, wie früher, erkennen liess. *Das schwebende Bein hängt also auch nicht an der Kapselmembran, weil es nicht allein hängen bleibt, nachdem die Kapselmembran durchschnitten ist, sondern auch in seiner Lage nicht einmal die geringste Verrückung erleidet.*

Dritter Versuch. Darauf wurde nun aber durch das Becken hindurch mitten in die Pfanne ein kleines *Loch* gebohrt, ohne dabei dem *ligamentum teres* oder der Kapselmembran zu nahe zu kommen. Wäre das Bein auf irgend eine Weise *unterhalb* unterstützt worden, z. B. von dem Pfannenrande, so hätte ein *oberhalb* durch die Pfanne gebohrtes Loch auf keine Weise diese Unterstützung aufheben können, und das Bein hätte seine Lage unverändert beibehalten müssen. Das Bein fiel aber in dem Augenblicke herab, wo die Spitze des Bohrers die Pfanne eben durchbrochen hatte und den Schenkelkopf noch nicht berührte, und fiel so weit herab, bis es von dem *ligamentum teres* getragen wurde. Dieses Herabfallen liess sich nicht allein unmittelbar während des Ver-

suches beobachten, sondern liess sich auch nachher noch daran erkennen, dass man nun das Bein, ohne die Pfanne, etwas heben, und nach Belieben bald in die Pfanne zurückschieben, bald aus derselben wieder herausziehen, oder auch, ohne es herauszuziehen, das eigene Herabfallen des Beins *zum zweiten Male* beobachten konnte. Dieser Versuch ist mehrfach an verschiedenen Leichen wiederholt worden, nicht nur, als die Kapselmembran durchschnitten, sondern auch, als sie noch unverletzt war, wo dann das Bein so weit herabfiel, bis es von der Kapselmembran getragen wurde. *Das schwebende Bein hängt also nicht darum am Rumpfe, weil es an der unteren Seite seines Schenkelkopfes vom Pfannenrande unterstützt, sondern weil es an der oberen Seite seines Schenkelkopfes zurückgehalten wird.*

Vierter Versuch. Endlich wurde das Bein vom Rumpfe ganz losgeschnitten, dann aber sein Schenkelkopf in die Pfanne, wie ein Stempel in die Büchse, hineingeschoben, und seine Kugelfläche, nachdem alle Luft zum Loche hinausgetrieben war, mit der Kugelfläche der Pfanne genau in Berührung gebracht. War es die atmosphärische Luft, welche früher das Bein getragen hatte, so musste sie das Bein wieder tragen, wenn das Loch wieder verschlossen wurde, durch welches sie in die Pfanne eingedrungen war: das Loch wurde mit dem Finger verschlossen *und das Bein hing.* Wurde aber der Finger vom Loche weggenommen, und konnte die Luft wieder eindringen, so *fiel* das Bein wieder. Dieser Versuch kann mit demselben Beine nach Belieben wiederholt werden und gelingt immer. So oft das Bein herabfällt, dringt die Luft zischend durch das Loch in die Pfanne ein. *Das schwebende Bein hängt also am Rumpfe, blos gehalten und getragen durch den Druck der atmosphärischen Luft, und kann nur herabfallen, wenn dieser Druck vermindert, oder der luftdichte Schluss zwischen Schenkelkopf und Beckenpfanne aufgehoben wird.*[1]) Eine Verminderung des Druckes der atmosphärischen Luft in dem Grade, als nöthig wäre, wenn das Bein aus der Pfanne herausfallen sollte, kommt niemals vor, selbst nicht bei den grössten Schwankungen des Barometers. Wohl aber kommt es vor, dass durch Krankheit die Kugelflächen des Schenkelkopfes und der Beckenpfanne aufhören luftdicht zu schliessen.

Bei einer sehr gefährlichen Krankheit des Hüftgelenkes nämlich,

[1]) Hieraus ergiebt sich nun von selbst, wie Paletta bei seinen § 52 erwähnten Versuchen getäuscht wurde. Er brach die Pfanne auf und liess also die Luft in das Gelenk einströmen. Sogleich musste das Bein herabfallen und Paletta musste bei näherer Besichtigung zwischen Schenkelkopf und Pfanne einen unerfüllten Raum finden. Paletta irrte sich aber, wie wir schon erwähnt haben, darin, dass er aus dem Dasein eines unerfüllten Raumes der Pfanne auf die Kleinheit des Schenkelkopfes schloss, der nicht zureiche, dieselbe zu erfüllen, und dass er diese irrige Folgerung für so sicher hielt, dass er sie nicht genauer prüfte.

die leider in neuerer Zeit häufig vorgekommen ist, und die man das Hüftweh, oder das freiwillige Hinken nennt, sinkt das Bein ohne äussere Veranlassung mit seinem Schenkelkopfe von selbst aus der Pfanne heraus, wird scheinbar länger und verursacht ein auffälliges Hinken. Dieses so beginnende Uebel verursacht anfangs meist wenig Schmerzen und wird oft vom Kranken selbst, zum grossen Nachtheil für ihn, wenig beachtet und vernachlässigt; bald aber nehmen die Schmerzen zu, indem die Krankheit sich ausbildet und oft lebensgefährliche Zerstörungen im Gelenke selbst und in den umgebenden Theilen anrichtet. Wegen dieser grossen Gefahr hat schon das erste Zeichen dieser drohenden Krankheit, nämlich jenes Herabsinken des Beins aus seiner Pfanne (was man deutlich erkennt, weil der Abstand der Ferse vom Hüftbeinkamme auf der kranken Seite grösser als auf der gesunden wird), die Aufmerksamkeit der Aerzte sehr gefesselt. Man hat dieses Herabsinken vielfältig zu erklären gesucht, hat sich dabei aber immer getäuscht, indem man die Ursache des Uebels in Verhältnissen suchte, die erst später, bei weiterem Verlaufe der Krankheit, einzutreten pflegen. In der That lässt sich jenes Herabsinken nicht genügend erklären, wenn man die Kraft nicht kennt, die das Bein im gesunden Zustande in der Pfanne zurückhält, und die mit dem Beginne der Krankheit zu wirken aufhört.[1])

[1]) Die irrigen Erklärungen der Verlängerung des Beins beim Hüftweh entsprechen ganz den irrigen Meinungen über die Kraft, durch welche das Bein getragen werde. Diejenigen, welche glaubten, dass das Bein im Gelenke selbst gar nicht zurückgehalten, sondern nur von den Muskeln getragen werde, welche das Bein mit dem Rumpfe verbinden, und dass es herabfallen müsste, wenn diese es nicht hielten, erklärten jenes Herabsinken durch eine blosse Schlaffheit dieser Muskeln, so dass die Verlängerung des Beins hiernach zunächst durch Muskelleiden bedingt wäre, das aber nicht Statt findet, wenigstens nicht beim Beginne der Krankheit: auch bedient sich der Kranke fortwährend dieser Muskeln so gut, wie der des gesunden Beins. Ferner diejenigen, welche glaubten, der Schenkelkopf werde von der Kapselmembran oder von der Pfanne zurückgehalten, nahmen an, dass durch Zerstörung der Pfannenrand weiter oder der Schenkelkopf kleiner geworden sei, so dass der letztere von selbst durch den für ihn zu weit gewordenen Pfannenrand hindurchfalle, oder dass durch Auswüchse an der Pfanne oder am Schenkelkopfe, und durch den Druck, den sie verursachten, die Tragkraft der Kapselmembran oder des Pfannenrandes überwunden worden sei. Nun treten zwar solche Zerstörungen beim weiteren Verlaufe der Krankheit wirklich im Hüftgelenke ein und erregen dem Kranken die furchtbarsten Schmerzen, in der Zeit aber, wo jene Verlängerung des Beins schon einzutreten pflegt, klagt derselbe über keine, oder über sehr geringe Schmerzen, welches nicht möglich wäre, wenn jene Zerstörungen da schon Statt gefunden hätten. Hierzu kommt noch, dass diese Verlängerung bisweilen plötzlich und zwar auf längere Zeit verschwindet, z. B. wenn die Gegend des Gelenks, wie es häufig geschieht, mit dem glühenden Eisen gebrannt wird, während doch jene Auswüchse nach wie vor ihren Druck ausüben müssten.

Jetzt aber, da wir wissen, dass der Druck der atmosphärischen Luft es ist, welcher beide Gelenkflächen zusammenhält, und dadurch das Bein trägt, brauchen wir nach keiner neuen Kraft zu suchen, welche den Schenkelkopf gewaltsam aus seiner Pfanne heraustriebe, weil er schon herabsinken muss, wenn nur die Verhältnisse aufhören, unter welchen der Luftdruck jenen Einfluss ausüben kann, wenn z. B. beide Gelenkflächen luftdicht zu schliessen aufhören, welcher Fall wirklich sehr leicht, auch schon beim Beginne der Krankheit, eintreten kann. Hört z. B. der elastische Pfannenrand auf, den Schenkelkopf luftdicht zu umschliessen, so dass die im Sacke der Kapsel enthaltene Flüssigkeit in die Pfanne eindringen kann, oder dringt Flüssigkeit krankhafter Weise aus den Gefässen der die Pfannengrube auskleidenden Synovialhaut, oder aus den durch Entzündung entstandenen Gefässen in den Pfannenraum hinein, so müssen diese eingedrungenen Flüssigkeiten von innen auf den Schenkelkopf eben so drücken, wie die Luft von aussen, und das Bein kann alsdann von der Luft eben so wenig getragen werden, als wie wenn es von allen Seiten von der Luft umgeben ist. Das Bein sinkt dann ohne eine äussere Gewalt von selbst herab, soweit bis die Kapselmembran durch dieselbe gespannt wird. Die dadurch entstandene Verlängerung, welche von der Länge der Kapselmembran abhängt, ist anfangs sehr gering, kann aber bei längerer Dauer des Uebels dadurch zunehmen, dass sich die Kapselmembran unter der ungewohnten Last des Beins ausdehnt. Ferner erklärt sich hieraus, wie es geschehen kann, dass bei Heilung des Uebels auch jene Senkung des Beins von selbst wieder verschwindet, das Bein also von selbst wieder in seine Pfanne zurückkehrt, ohne dass ein Nachtheil für das Gelenk zurückbleibt; weil nämlich die ergossene Flüssigkeit während der Heilung von den Gefässen wieder aufgesogen wird, sobald die Ursache des Uebels gehoben ist. Das *plötzliche* Verschwinden der Verlängerung aber, was z. B. nach dem Brennen der kranken Gegend bisweilen beobachtet wird, erklärt sich sehr wohl, wenn man annimmt, dass die Muskeln, welche vom Beine zum Rumpfe gehen, durch einen heftigen Krampf plötzlich stark kontrahirt werden, so dass sie nicht allein das Bein in die Höhe heben, sondern auch mit Gewalt in die Pfanne hineintreiben. Alsdann wird die in derselben enthaltene und gedrückte Flüssigkeit nach allen Seiten hin auszuweichen suchen und zwischen dem Schenkelkopf und dem elastischen Rand hindurch in den unteren Raum des Kapselsackes entweichen, worauf die Verlängerung des Beins verschwunden ist und verschwunden bleibt, auch wenn jener Krampf nachlässt, so lange nämlich, bis durch den fortdauernden Krankheitsprocess neue Flüssigkeit aus den Gefässen in die Pfanne ergossen wird.

Diese merkwürdige Organisation des Hüftgelenks, welche macht, dass der Druck der atmosphärischen Luft das Bein trägt, ist für alle Bewegungen des Beins, während es am Rumpfe hängt, insbesondere beim Gehen und Laufen, wo solche Bewegungen bei jedem Schritte nothwendig sind, von grösster Wichtigkeit. Weil das Bein von der Luft getragen wird, ist es so sehr beweglich, und diese grosse Beweglichkeit, während es am Rumpfe hängt und fortgetragen wird, gestattet ihm, wie ein Pendel, zu schwingen und ohne anderen Antrieb, als den seiner eigenen Schwere, von der schiefen Lage, in welcher es vom Boden erhoben wurde, zur senkrechten Lage zu kommen und darüber nach der entgegengesetzten Seite (nach vorn) fast eben so weit hinauszugehen, als es von der ersteren Seite hergekommen war. Man wird durch diese Organisation des Hüftgelenks an manche physikalische Instrumente und an die sinnreichen Methoden erinnert, die dabei zur Herstellung einer vollkommen freien Drehbarkeit eines schweren Körpers erdacht und angewendet worden sind, und darin bestehen, dass das Gewicht des Körpers aufgehoben und die Reibung fester Körper an einander (der wahre Feind der freien Drehbarkeit) vermieden wird, kurz, wie man es bei solchen Instrumenten zu nennen pflegt, dass *das Gewicht des Körpers äquilibrirt wird.* Zu gleichem Zwecke wird *das Gewicht des Beins äquilibrirt.* Es ist interessant, die mancherlei sinnreichen Methoden, welche die Physiker zum Aequilibriren ihrer Instrumente erdacht haben, mit der noch sinnreicheren, welche die Natur zur Aequilibrirung der Beine am Rumpfe ausgeführt hat, zu vergleichen.

Bei der Verfertigung von Instrumenten und Maschinen kommt nämlich die Aufgabe häufig vor, einen schweren Körper um eine horizontale Axe frei drehbar zu machen. Diese Aufgabe wird sehr leicht und vollkommen gelöst, wenn die Axe sehr dünn sein, oder von einer scharfen Kante gebildet werden darf, wie dies bei einer Waage der Fall ist. Ist dieses aber nicht der Fall, muss der Körper mit dicken runden Zapfen auf seinem Lager aufliegen, wie z. B. das Fernrohr eines Meridiankreises, so muss der ganze Körper äquilibrirt, d. i. sein Gewicht muss aufgehoben werden. Diese Aequilibrirung eines drehbaren Körpers macht eine sehr künstliche Einrichtung nothwendig: z. B. wird bei einem Meridiankreise das Gewicht des Fernrohrs von zwei Schnüren (oder mehreren mit einander drehbar verbundenen Hebelarmen) getragen, welche, um seine Axe geschlungen, senkrecht in die Höhe und dann über Rollen gehen, und durch Gewichte so gespannt werden, dass die runden Zapfen, welche die Axen des Instruments bilden, nur mit einem kleinen Bruchtheile vom Gewichte des Fernrohrs auf das Lager drücken. Eine solche Einrichtung war aber unmöglich im menschlichen Körper anzubringen; die Natur lässt daher, um das Bein bei seiner Aufhängung

im Hüftgelenke zu äquilibriren, sein Gewicht von der das Bein umgebenden atmosphärischen Luft tragen durch eine Einrichtung, die zwar dem Mechanikus auszuführen sehr schwer fallen würde, die aber an sich viel einfacher, mit dem übrigen Bau des Körpers allein verträglich und von der Natur auf's Vollkommenste dargestellt ist.

Alle Körper, die sich in der atmosphärischen Luft befinden, werden von derselben an ihrer Oberfläche gedrückt. Da dieser Druck aber von allen Seiten fast gleich ist, so werden sie durch denselben nicht bewegt, sondern es wird dadurch nur ein kleiner Theil ihres Gewichts aufgehoben. Hält man dagegen den Luftdruck von einem Theile der Oberfläche eines solchen Körpers ab, so wird dadurch sein Gleichgewicht gestört, und der Körper fängt an, sich nach der Richtung zu bewegen, von welcher her der Gegendruck fehlt. Nun wird das Bein in der That, wenn es frei in der atmosphärischen Luft vom Rumpfe herabhängt, von der atmosphärischen Luft von allen Seiten gedrückt, mit Ausnahme der Kugeloberfläche des Schenkelkopfes, welche von der Pfanne, die von dieser Seite die atmosphärische Luft abhält, bedeckt ist. Das Bein wird deshalb von der Luft, welche auf dessen übrige Oberfläche drückt, nach der Seite der Pfanne hin, d. i. nach oben, bewegt, oder vielmehr die fallende Bewegung, welche das Bein, von seiner eigenen Schwere getrieben, machen würde, wird dadurch aufgehoben. Nun wird zwar die Pfanne ebenfalls von der Luft, die auf die ganze Oberfläche des Rumpfes mit Ausnahme der Stelle, wo die Pfanne den Schenkelkopf berührt, drückt, mit gleicher Kraft in entgegengesetzter Richtung gedrückt, dieser Theil des Druckes aber wird von dem das Becken stützenden anderen Beine aufgehoben. Die Kraft, durch welche das Bein gehoben wird, ist nach einem bekannten Gesetze dem Gewichte einer Quecksilbersäule von der Höhe des Barometerstandes gleich, deren vertikale Fläche die Berührungsfläche der Pfanne mit dem Schenkelkopfe begrenzt. Setzen wir, was der Wahrheit gewiss sehr nahe kommt, den Querschnitt dieser Quecksilbersäule dem Produkte aus der kleinsten und grössten Sehne vom Kugelsegment der Beckenpfanne gleich, die am Knochenabdruck Taf. IX, Fig. 1 und Fig. 2 gemessen 25 Millimeter und 47 Millimeter betragen, so ist jene Kraft bei einem Barometerdrucke von 750 Millimeter dem Gewichte von $750 \times 25 \times 47$ Kubikmillimetern Quecksilber gleich oder

$$= 11\,980 \text{ Grammen}$$

(25 Preuss. Pfunden 10 Loth), was so viel oder nur wenig mehr, als das Gewicht des Beins beträgt. Es bedarf keiner weiteren Erörterung, dass, wenn das Bein ausser seinem Gewichte von anderen äusseren Kräften nach unten gezogen wird, z. B. wenn man das Bein zur Hebung

einer Last gebraucht, die auf den Fuss gesetzt wird, die Muskeln angespannt und diese hinzukommende Last ganz von der Muskelkraft getragen werden müsse.

Vierter Abschnitt.

Ueber das Kniegelenk.

§ 65.

Beweglichkeit des Unterschenkels im Vergleich zu der des Unterarms.

Man muss zweierlei Dienste, die das Bein dem Menschen leistet, von einander unterscheiden. *Erstens* dient es als eine den übrigen Körper tragende, der Verlängerung und Verkürzung fähige Stütze: hierzu muss es sich im Kniegelenke *beugen und strecken* können, und muss, während es gestreckt ist, zugleich *steif sein*, damit es gehindert werde, auf eine andere Weise sich zu bewegen; denn jede andere Bewegung würde die Unterstützung unsicher machen. *Zweitens* dient das Bein statt eines minder vollkommenen Arms, z. B. beim Klettern und noch häufiger beim Sitzen: hierzu muss das Bein sich im Kniegelenk nicht nur beugen und strecken, sondern auch mit dem Unterschenkel sich um sich selbst drehen, d. i. der Pronation und Supination fähig sein. Das Bein leistet jene beiden Dienste, die mit einander unvereinbar sind, nicht zu gleicher Zeit, sondern bald den einen, bald den anderen, nämlich *jenen bei gestreckten, diesen bei gebogenen Knien.*

Bei mehr gebogenem Knie, wo das Bein sich nicht zur Stütze eignet, ist das Unterbein der Pronation und Supination fähig, indem gewisse Bänder, welche, angespannt, sie verhindern würden, durch die Beugung selbst schlaff geworden sind. Bei mehr gestrecktem Knie, wo das Bein beim Klettern und Sitzen nicht gebraucht wird, wird es der Pronation und Supination minder fähig, weil jene Bänder sich von selbst anspannen, und zwar um so mehr, je grösser die Streckung ist: bei der grössten Streckung sind sie so straff, dass *gar keine Pronation und Supination möglich ist.* Jene bei gebogenem Knie dem Beine verstattete Pronation und Supination ist, wenn auch nicht ausdrücklich geleugnet, doch von den Meisten gar nicht beachtet worden; sie ist aber sehr wichtig und schon um ihrer nicht unbeträchtlichen Grösse willen beachtungswerth. Wir haben darüber Messungen gemacht, sowohl an Lebenden als an Todten, aus denen man jene dem Beine gestattete Pronation und Supination näher kennen lernen wird.

Ungeachtet das Unterbein einige Aehnlichkeit mit dem Unterarme hat, weil es, wie dieser, aus zwei neben einander liegenden langen Knochen gebildet ist, die am Beine auf eine ähnliche Weise zwischen dem Fusse und dem Oberschenkel, wie am Arme zwischen der Hand und dem Oberarme liegen, und weil es wie der Unterarm einer zweifachen Bewegung, der Beugung und Streckung, und der Pronation und Supination fähig ist; so ist es doch bei genauerer Betrachtung sehr von ihm verschieden. Die Pronation und Supination wird am Beine durch einen ganz anderen Mechanismus hervorgebracht, als am Arme, und diese Verschiedenheit hat den Zweck, dass der Unterschenkel, wie gesagt, die nöthige Steifigkeit und Festigkeit als Stütze für den Körper habe und nur in einem eingeschränkteren Grade die Pronation und Supination des Fusses gestatte; dass dagegen der Unterarm sehr vollkommen die Pronation und Supination bewirke, aber in einem sehr eingeschränkten Grade als Stütze diene. Die Tibia Taf. I, *Ti* ist eine Stütze, welche unten auf dem Fusse ruht, und oben im Kniegelenke den Oberschenkel sammt dem übrigen Körper trägt, und also vom Fussgelenke bis zum Kniegelenke emporreicht, und in beiden Gelenken der Hauptknochen ist, mit welchem die Gelenkverbindung eingegangen wird. Diese Verbindung zweier so weit von einander entfernter Gelenke, wie das Fussgelenk und Kniegelenk, durch einen einzigen starken Knochen, die Tibia, der mit beiden fest verbunden ist, giebt dem Beine seine grosse Festigkeit. Der Arm besitzt diese Festigkeit nicht, weil zwei Knochen, die nicht einmal mit einander fest verwachsen sind, die Verbindung zwischen den zwei gleichfalls sehr weit von einander entfernten Gelenken, dem Hand- und Ellenbogengelenke bilden, nämlich der Radius *R* (Taf. I) und die Ulna *U*. Der Radius ist mit der Hand zusammengelenkt, ist aber, wenn er gleich bis zum Oberarm reicht, doch nicht daran befestigt. Die Ulna ist mit dem Oberarmknochen fest zusammengelenkt, reicht aber nicht einmal herab bis zur Hand. Beide Knochen sind an einander so beweglich, dass die Pronation und Supination am Unterarme sehr gross und bei allen Graden der Beugung und Streckung gleich gross und leicht auszuführen ist. Die Pronation und Supination wird am Arme ganz unabhängig von der Beugung und Streckung bewirkt: *erstere* hängt nur von der Bewegung des Radius, *letztere* nur von der Bewegung der Ulna ab, und beide Knochen sind so mit einander verbunden, dass die Bewegung des einen die Bewegung des anderen nicht hindert. Da blos die Ulna mit dem Oberarmknochen ein Charnier bildet (so dass sie nur der Beugung und Streckung fähig ist), so geht von beiden Seitenbändern, die diesem Charniere Festigkeit geben sollen, keines vom Oberarm zum Radius, sondern beide zur Ulna; der Radius, der daher durch keine Bänder unmittelbar an den Oberarm,

sondern nur an die Ulna befestigt ist, theilt zwar alle Bewegungen, welche die Ulna am Oberarme macht, wird aber vom Oberarm nicht gehindert noch eine andere Bewegung, als jenes Charnier der Ulna gestattet, zu machen, und zwar bei allen Lagen des Unterarms gegen den Oberarm. Der Radius *berührt* den Oberarmknochen blos am kugelförmigen *processus capitatus* mit einer kleinen, gleichfalls kugelförmigen, an seinem oberen Ende befindlichen Pfanne und bildet mit ihm eine kleine Nuss. Der Mittelpunkt dieses kleinen durch keine Bänder beschränkten Nussgelenks fällt in die verlängerte Axe des Charniers der Ulna und gestattet dem Radius eine freie Drehung um sich selbst bei allen Graden der Streckung und Beugung des Arms. Das einzige Band, welches vom äusseren Condylus des Oberarms zum Unterarme führt, das *ligamentum laterale externum*, endigt nicht am Radius, sondern geht an ihm vorbei zur Ulna, oder der Radius ist vielmehr durch einen Schlitz desselben hindurchgesteckt, ohne mit ihm verwachsen zu sein. Das *ligamentum laterale externum* spaltet sich nämlich in zwei den Hals des Radius umfassende Schenkel, die sich an die Ulna ansetzen, und die durch einige Ringfasern unter einander verbunden sind.[1]) Dieses Band hält zwar alle drei Knochen, den Oberarmknochen, die Ulna und den Radius zusammen, hindert aber den letzteren nicht, sich in seinem Schlitze immer gleich frei zu drehen, weil es, wie wir im folgenden Paragraphen zeigen werden, bei allen Lagen des Gelenks gleichmässig gespannt bleibt. Während so das obere Ende des Radius immer an derselben Stelle bleibt, bewegt sich sein unteres Ende ein Stück um die Ulna im Kreise, kehrt ihr aber dabei stets dieselbe Seite zu. Der ganze Radius beschreibt demnach um die Ulna ein Stück einer Kegelfläche, deren Spitze im Mittelpunkte des *processus capitatus* liegt. Die Hand, welche am unteren Ende des Radius eingelenkt ist, wird, wenn der Radius seine konische Bewegung macht, um die verlängerte Ulna mit im Kreise bewegt und gedreht. In dieser bei jeder Beugung oder Streckung des Armes immer auf gleiche Weise gestatteten Drehung der Hand besteht die Pronation und Supination derselben, die also, frei und unabhängig von der Beugung und Streckung, immer innerhalb weiter Schranken gestattet ist. Es leuchtet hieraus ein, wie nothwendig für diese Freiheit und Unabhängigkeit der Pronation und Supination von der Beugung und Streckung jene beiden Knochen, der Radius und die Ulna, und ihre relative Beweglichkeit sind.

[1]) Die beiden Schenkel, in welche sich das äussere Seitenband spaltet, mit diesen Ringfasern zusammen, hat man als ein besonderes Band, *ligamentum orbiculare radii*, beschrieben, an welchem sich das Seitenband endige, was aber darum nicht angeht, weil die Bandfasern, welche jene Schenkel bilden, ununterbrochen vom Oberarmknochen bis zur Ulna fortgehen.

Anders verhält es sich mit dem Beine. An diesem ist die Fibula *unbeweglich* mit der Tibia verbunden, und theilt also alle Bewegungen, welche die Tibia ausführt, und kann ausserdem keine andere haben. Der Fuss und der Oberschenkel sind ferner beide mit einem und demselben Knochen, der Tibia, zusammengelenkt. Die Pronation und Supination des Fusses wird daher nicht durch Drehung eines Knochens um den anderen, sondern durch Drehung des ganzen Unterbeins im Kniegelenke bewirkt. Das Kniegelenk hat dazu eigenthümliche Einrichtungen erhalten, durch welche diese Drehbarkeit der Festigkeit nicht schadet, weil sie in gestreckter Lage des Knies, wo sie schaden würde, gehemmt, erst durch die Beugung desselben möglich wird.

§ 66.

Einrichtung des Kniegelenks im Vergleich zu der des Ellenbogengelenks.

Man pflegt sehr viele Gelenke des menschlichen Körpers, besonders auch das Kniegelenk, mit Charnieren zu vergleichen. Ein Charnier ist eine solche Verbindung zweier fester Körper, welche ihnen blos eine Drehung um eine gemeinschaftliche Axe, die Drehungsaxe des Charniers, gestattet. Diese Drehung kann aber auf verschiedene Weise erreicht werden. Es leuchtet von selbst ein, dass, wenn eine konvexe und eine konkave Fläche genau auf einander schliessen, und gehindert sind, auseinander zu weichen, sie nur dann eine Drehung gestatten, wenn beide drehrund und koncentrisch sind. Sind es, wie bei einer Nuss, koncentrische Kugelflächen, die genau auf einander passen, so können sie sich um jede durch das Centrum gehende Linie, wie um eine Axe drehen; sind es aber, wie bei einem Charniere, blos in einem Sinne drehrunde, z. B. cylindrische Flächen, so können sie sich blos um eine einzige Linie, um die Axe des Cylinders drehen. Es ist bekannt, dass solche Charniere häufig in den Künsten und Gewerben zwischen festen Körpern angewendet werden, wo dann die Axe in der Angel oder in einem durch beide gehenden Stifte liegt. Auch die bildende Natur hat häufig solche Gelenke am Mechanismus des Skelets zur Verbindung der Knochen angewandt, jedoch ohne einen Stift oder eine Angel zur Axe zu gebrauchen. So bilden z. B. das eine Fussgelenk und das Ellenbogengelenk Charniere dieser Art, und unterscheiden sich dadurch vom Hüftgelenke, welches eine Nuss darstellt; denn während die Durchschnitte des Hüftgelenks nach allen Richtungen kreisförmige Schnittränder geben, woraus folgt, dass es mit keinem Charniere, sondern mit einer Nuss verglichen werden muss, so geben jene beiden Gelenke nur dann kreisförmige Durchschnitte, wenn sie einer bestimmten Ebene, nämlich derjenigen, in welcher die Beugung und Streckung geschieht, parallel gemacht werden, woraus

folgt, dass die Flächen dieser Gelenke nur in Bezug auf eine einzige Axe drehrund sind, wie ein Cylinder oder Konus. Taf. X, Fig. 1 zeigt einen solchen Durchschnitt des Ellenbogengelenks und die kreisförmigen Schnittränder, welche dasselbe, senkrecht auf die Streckungs- und Beugungsaxe durchschnitten, darbietet. Alle Querschnitte des Ellenbogengelenks, welche damit nicht parallel sind, zeigen keine kreisförmigen Ränder, z. B. der Durchschnitt Taf. IX, Fig. 3, welcher senkrecht gegen den vorigen gemacht ist. Man sieht aus diesen Abbildungen, dass die von der Natur gebildeten Charniere von denjenigen künstlichen Charnieren sehr verschieden sind, wo ein Stift durch die beiden zu verbindenden Körper geschlagen wird. Sie unterscheiden sich aber auch von den anderen künstlichen Charnieren, wo ein Theil des einen Körpers selbst zu einer Angel geformt ist, wesentlich dadurch, dass diese Angel mitten durch den anderen Körper hindurchgeht, oder wenigstens dem grösseren Theile nach von ihm umschlossen wird, wodurch beide Körper zusammengehalten werden, dass die bildende Natur dagegen bei den Gelenken der Thiere und des Menschen die konvexe Fläche nur mit einem kleineren Kreissegmente der konkaven umschliesst, folglich eine Entfernung beider Flächen von einander gestattet, was in obigen Figuren zur Deutlichkeit benutzt ist, um beide Grenzflächen durch geringe Entfernung von einander sichtbar zu machen; sie ersetzt aber diesen Mangel durch Bänder, welche die konvexe und konkave Fläche an einander gedrückt erhalten und ihre Entfernung von einander nicht ohne gewaltsame Dehnung, Zerreissung, oder Zerschneidung gestatten.

Soll ein Charnier zwar eine Drehung der mit einander verbundenen Knochen gestatten, diese Drehung aber nicht über eine gewisse Grenze fortgesetzt werden können, so wird eine Einrichtung zur Hemmung erforderlich, welche sich ebenfalls auf verschiedene Weise herstellen lässt. Die Hemmung kann plötzlich eintreten, wenn an dem einen Knochen zu diesem Zwecke ein knöcherner Vorsprung angebracht ist, welcher, wenn die Drehung ihre Grenze erreicht, an den anderen Knochen anstösst; sie kann dagegen allmählig eintreten, wenn ein elastisches Band zwei von der Drehungsaxe entfernte Stellen der beiden Knochen verbindet und bei der Drehung allmählig gespannt wird. Bei dem Ellenbogengelenk findet man die erste Art der Hemmung angewandt; denn ungeachtet Bänder vorhanden sind, welche den Oberarm- und Unterarmknochen mit einander verbinden, so nimmt doch ihre Spannung weder bei der Streckung, noch bei der Beugung zu, weil diese Bänder sich nicht an beiden Knochen excentrisch, sondern am oberen Knochen gerade in *den Endpunkten der Drehungsaxe* selbst befestigen, so dass ihre unteren Ansatzpunkte an der Ulna um die oberen Kreise beschreiben. Statt dessen finden sich an der Ulna des Unterarms zwei Vorsprünge,

vorn der *processus coronoideus*, Taf. X, Fig. 1 *c*, hinten das *olecranon o*, welche die Drehung *plötzlich* hemmen, weil sie sich vor den Oberarmknochen vorlegen.

Wie das Ellenbogengelenk, ebenso scheint nun ferner beim ersten Anblicke auch das Kniegelenk mit einem Charniere verglichen werden zu müssen, weil die gewöhnliche Bewegung des Knies der des Ellenbogengelenks ganz ähnlich ist. Die genaue Untersuchung ergiebt aber, dass das Knie zwar denselben Dienst leistet, als das Ellenbogengelenk, aber ganz anders eingerichtet ist. Das Knie gestattet zwar eine sehr grosse Streckung und Beugung des Beins, hat aber keine drehrunden Flächen, die an einander schliessen und dabei sich verschieben, sondern die eine der beiden gegen einander gekehrten Flächen des Knies, nämlich die des Oberschenkels, bildet im Querschnitt von hinten nach vorn ein Stück einer Spirale, die andere, nämlich die des Unterschenkels, eine fast ebene Fläche. Beide berühren sich daher in diesem Querschnitte nur in einem Punkte. Die gekrümmten Kondylen des Oberschenkelbeins stehen auf einer fast ebenen von dem Schienbeine gebildeten Fläche, wie das Rad auf dem Boden, und rollen, wie dieses, bei der Streckung nach vorn, bei der Beugung nach hinten, wodurch zwar auch der Zweck eines Charniers erreicht wird, nur mit dem Unterschiede, dass die Drehungsaxe der beiden verbundenen Theile mit sich selbst parallel verrückt wird, indem eine Abwickelung Statt findet, bei welcher immer andere und andere Punkte der beiden Theile mit einander in Berührung gebracht werden. Die Drehung findet hier um den in jedem Augenblicke aufstehenden Punkt Statt, und die Drehungsaxe rückt daher zugleich mit dem Berührungspunkte fort. Dadurch, dass bei der Streckung und Beugung die eine Gelenkfläche auf der anderen wie eine Wiege sich bewegt, unterscheidet sich das Kniegelenk wesentlich nicht nur von einem Charniere, sondern auch von allen anderen Gelenken des Körpers.

So wie die Räder eines Wagens auf einer horizontalen Ebene nicht nur fortrollen, sondern auch beim Umlenken um eine senkrechte Axe gedreht werden, weil sie den Boden nur in einem Punkte berühren, so kann auch der Oberschenkel mit seinen beiden Kondylen auf der ebenen Fläche der Tibia, auch wenn er an dieselbe angedrückt wird, nicht nur etwas hin und her rollen, und dadurch sich strecken und beugen, sondern er kann auch um eine in jener Fläche senkrecht stehende Axe gedreht werden. Diese Drehung, welche, wie schon gesagt, zwar in den mehr gestreckten Lagen des Gelenks durch die Spannung der Bänder verhindert wird, hat in der gebogenen Lage einen beträchtlichen Umfang, und ist für die Verrichtungen des Beins von grosser Wichtigkeit. In einem Charniere, wie das Ellenbogengelenk, würde

sie ganz unmöglich sein. Zu allen diesen Verschiedenheiten des Kniegelenks vom Ellenbogengelenke kommt endlich noch die hinzu, dass zwar seiner Streckung und Beugung auch Grenzen gesetzt sind, die Hemmung an diesen Grenzen aber nicht plötzlich durch sich vorlegende Knochenvorsprünge, sondern allmählig durch die Spannung von Bändern bewirkt wird.

§ 67.

Grenzen der Beweglichkeit des Kniegelenks.

Die beiden im Knie zusammengelenkten Knochen, das Oberschenkelbein und das Schienbein, können sich, wie wir im vorigen Paragraphen auseinandergesetzt haben, in zwei verschiedenen Ebenen an einander drehen: *erstens* in der senkrechten Ebene, in der beide Knochen liegen, um eine horizontale, von der rechten nach der linken Seite gehende Axe (Beugung oder Streckung); *zweitens* in horizontaler (der Gelenkfläche des Schienbeins parallelen) Ebene um die vertikale Längenaxe des Schienbeins (Pronation und Supination). Beide Bewegungen haben nicht immer die nämlichen Schranken, sondern die der Pronation und Supination sind weiter oder enger bei grösserer Beugung oder Streckung, und umgekehrt.

Um die Schranken, welche der Beugung und Streckung und der Pronation und Supination durch die Gelenkflächen und die Gelenkbänder gesetzt worden sind, zu ermitteln, klemmten wir den Oberschenkelknochen eines von seinen Muskeln befreiten Beins, so in einem Schraubstocke ein, dass das Bein eine horizontale Lage hatte, und dass die Seitenflächen des Knies nach oben und unten gekehrt waren. Die erstere der genannten Bewegungen, die Streckung und Beugung, geschah alsdann in horizontaler Ebene und konnte dadurch gemessen werden, dass wir, wie § 44, mit Hülfe einer Magnetnadel den Winkel bestimmten, um welchen das jetzt allein bewegliche Schienbein seine Lage zum magnetischen Meridian durch seine Drehung zu ändern vermochte. Der Umfang der Streckung und Beugung betrug nach an vier Leichnamen angestellten Messungen

	156°
	166°
	166°
	172°
Mittel	165°.

Derselbe Winkel betrug nach den an zwei lebenden Menschen (§ 47) angestellten Messungen 153,1° und 136,5°, im Mittel nur 144,8°, also 20° weniger, als an jenen Leichnamen. Da dieser grosse Unterschied

zu gross ist, als dass er als zufällig betrachtet werden darf, so scheint daraus hervorzugehen, dass unsere Muskeln das Knie nie so weit beugen, als es der Gelenkapparat gestattet, oder durch ihr Volumen die Knochen hindern, sich soweit einander zu nähern, als es am Skelete möglich ist.

Die zweite Bewegung (die Pronation und Supination), bei welcher sich der Unterschenkel in horizontaler Ebene oder seiner Länge nach um sich selbst dreht, welche aber bei der beschriebenen Lage des Beins in senkrechter Ebene geschah, maassen wir mit Hülfe eines getheilten in seinem Mittelpunkte mit einem Bleilothe versehenen Kreises, den wir, wie § 63, an ein rechtwinkelig in die Tibia eingeschlagenes Stäbchen anlegten und so den Winkel bestimmten, um welchen das Schienbein seine Lage gegen das Loth zu ändern vermochte. Nach diesen Messungen ergab sich der Umfang der Pronation und Supination am grössten bei einer Beugung des Knies von ungefähr 145° und zwar bei jenen vier Leichnamen, an welchen vorher die Beugung und Streckung gemessen worden war, zu

25°
39°
39°
44°
Mittel 39°.

Dieser grösste Umfang der Pronation und Supination nahm, wenn das Knie von 145° allmählig bis auf 90°, also bis zur rechtwinkeligen Lage, die das Knie beim Sitzen annimmt, gestreckt wurde, nur wenig ab, so dass sie bei jenen Leichnamen immer noch im Mittel 34° betrug. Fuhr man aber von hier aus das Bein weiter zu strecken fort, so nahm der Drehungswinkel der Pronation und Supination schnell ab, so dass er bei völliger Streckung ganz verschwunden war, und die Pronation und Supination in dieser Lage ganz unmöglich wurde.

§ 68.

Form der Gelenkflächen des Knies.

Das obere Ende der Tibia, auf welchem das Oberschenkelbein steht, ist durch eine mittlere Erhabenheit in zwei seitliche Hälften getheilt, die man auch die Kondylen der Tibia nennt, und welche zwei sehr flache Gelenkflächen tragen, durch welche die Tibia das Oberschenkelbein berührt. Taf. X, Fig. 2, sieht man beide Gelenkflächen der Tibia von einer Seite zur anderen durchschnitten. Beide erscheinen in diesem Durchschnitte schwach vertieft. Beide sind von einander durch jene Erhabenheit, *eminentia intermedia,* getrennt, welche zum inneren Kondylus

hin steiler, zum äusseren flacher abfällt. Durchsägt man die Kondylen der Tibia senkrecht von hinten nach vorn, so erscheint die Gelenkfläche des inneren Kondylus der Tibia, Fig. 4, nur sehr schwach vertieft, die des äusseren, Fig. 3, sogar etwas konvex, was von der *eminentia intermedia* herrührt, weil sie, wie erwähnt, nach dieser Richtung sehr langsam abfällt.

Auf diesen beiden fast ebenen Gelenkflächen der Tibia steht das Oberschenkelbein mit zwei von vorn nach hinten länglichen und ein wenig divergirenden Kondylen oder Gelenkköpfen, welche von hinten her dem grösseren Theile ihrer Länge nach durch eine breite und tiefe Hohlkehle (Kniekehle, *poples*) getrennt sind, vorn aber mit einander durch die der Kniescheibe zugekehrte Gelenkfläche in Verbindung stehen, mit der ihre beiden Gelenkflächen zusammenfliessen. In dem Durchschnitte des Kniegelenks, Fig. 2, sieht man jene beiden Kondylen quer von einer Seite zur anderen durchschnitten und durch die Kniekehle getrennt, welche die mittlere Erhabenheit auf der darunter liegenden Fläche der Tibia aufnimmt, aber von ihr nicht erfüllt wird. Beide Kondylen sind, wie diese Figur zeigt, von einer Seite zur anderen gewölbt. Durchsägt man aber das Gelenk in dem Sinne, in welchem es sich beugt und streckt, oder von vorn nach hinten, wie in Fig. 3 und 4, so überzeugt man sich schon durch oberflächliche Betrachtung der Abbildungen, dass die Schnittränder jener Kondylen des Oberschenkelbeins in dem Sinne der Beugung und Streckung keine Kreisabschnitte, und sie selbst nicht drehrund, wie die Rolle des Oberarmbeins, Fig. 1, sind, sondern dass die Krümmung derselben in dem Sinne von vorn nach hinten herum zunimmt, oder was dasselbe ist, dass der Krümmungshalbmesser nach hinten abnimmt.[1]) Wir haben die Krümmungshalbmesser für einzelne Punkte der Peripherie von hinten nach vorn, Fig. 4, gemessen. Die Grösse dieser Krümmungshalbmesser[2]) betrug von 5 Millimeter zu 5 Millimeter

16,85 Millimeter
17,58 „
16,37 „
17,42 „

[1]) Eine noch richtigere und vollkommenere Ansicht von der Krümmung der Kondylen erhält man, wenn man diese nach ihrer Längsrichtung, also in zwei nach hinten konvergirenden Ebenen durchsägt.

[2]) Wenn man eine Kurve in sehr kleine Theile theilt, so kann man die einzelnen Theilchen als Bögen von Kreisen betrachten, deren Halbmesser um so grösser sind, je geringer die Krümmung des Theilchens ist. Man misst darnach die Krümmung eines solchen Theilchens, je nachdem es dem Bogen eines grösseren oder kleineren Kreises entsprechend gedacht werden muss, und nennt den Radius dieses Kreises den *Krümmungshalbmesser des Kurventheilchens.*

19,76	Millimeter
22,47	„
47,36	„
53,00	„

Man ersieht aus dieser Reihe von Messungen sogleich, dass die Krümmungshalbmesser in den ersten Gliedern sich fast völlig gleich bleiben, von da an aber sehr rasch zunehmen. Man kann daher die Kurve, welche die beiden Kondylen in der Richtung von hinten nach vorn darbieten, mit einer Spirale vergleichen, deren erstes Stück mit einem Kreisbogen fast zusammenfällt.

Man unterscheidet ein Rad, welches auf seiner Bahn *rollt*, von einem Rade, welches *schleift*. Wenn aber der Weg, auf welchem das Rad bewegt werden soll, eine mit dem Umringe des Rades zusammenfallende Kreisbahn darstellt, so hört aller Unterschied zwischen Rollen und Schleifen auf; die ganze Peripherie des Rades kann sich blos in allen Punkten dieser Kreisbahn gleichzeitig *verschieben*. Dies findet bei einem Charniere Statt und bei denjenigen Gelenken, die wir, wie das Ellenbogengelenk, mit einem Charniere verglichen haben; es findet aber nicht Statt beim Kniegelenke, dessen Flächen weder zusammenfallen, noch kreisrund sind. Wird daher der Oberschenkel auf der Tibia bewegt, so findet nothwendig der Unterschied zwischen Rollen und Schleifen Statt, und es muss untersucht werden, ob, und wie das eine oder andere oder beides zugleich geschehe.

§ 69.

Der Oberschenkel rollt und schleift zugleich bei der Beugung und Streckung auf der Oberfläche der Tibia.

Die Stellung des Oberschenkelbeins auf der Tibia ist nicht der Art wie bei einem frei rollenden Rade, sondern ist, wie bei einem gehemmten Rade, mit Schleifen verbunden. Die Hemmung des auf der Tibia rollenden Schenkelbeins geschieht durch die Bänder, welche beide Knochen mit einander verbinden. Wenn aber auch diese Bänder das Hin- und Herrollen der Kondylen auf der Tibia theilweise hemmen und dadurch ein Schleifen der Kondylen an der Tibia hervorbringen, so hindern sie dasselbe doch nicht ganz, wie folgende Versuche beweisen.

Wir bezeichneten bei einem geöffneten Kniegelenke, bei welchem aber alle wirksamen Bänder unverletzt waren, die Punkte, mit welchen sich die Tibia und das Oberschenkelbein berührten, als das Kniegelenk gebogen war, und darauf ihre neuen Berührungspunkte, nachdem es gestreckt worden war. Es ergab sich, dass beide Gelenkflächen successive mit verschiedenen Punkten einander berührten. Die successiv in

Berührung kommenden Punkte lagen aber auf der abgerundeten Fläche des Oberschenkelbeins weiter auseinander, als auf der oberen Fläche der Tibia. Bei vollkommener Rollung hätten die Abstände auf beiden Flächen gleich sein müssen, bei blossem Schleifen hätten die Abstände der Punkte auf der Tibia ganz verschwinden müssen; folglich fand weder ein blosses Schleifen noch ein blosses Rollen, sondern beides zusammen Statt. Um uns von dieser Thatsache noch auf eine andere Weise zu überzeugen, bezeichneten wir die Linie, welche durch die Mittelpunkte, Taf. X, Fig. 4 *c*, der beiden Kreise geht, mit denen ein grosser Theil der spiralförmig gebogenen Gelenkflächen der Kondylen fast zusammenfällt, und welche wir näherungsweise als die Linie betrachten dürfen, welche am rollenden Oberschenkel der Radaxe entspricht, indem wir an beiden Seiten an den Endpunkten Stiftchen einschlugen. Darauf befestigten wir die Tibia in einem Schraubstocke und beobachteten die Bewegung der bezeichneten Punkte bei der Beugung und Streckung gegen ein Paar feste Spitzen. Auch bei diesem Versuche ergab sich, dass jene Punkte, je nachdem das Gelenk gebogen oder gestreckt wurde, rückwärts oder vorwärts schritten. Man beobachtete aber ausserdem noch ein gleichzeitiges Ab- und Aufsteigen derselben, welches am äusseren Kondylus 5 Millimeter betrug, was daher rührt, dass die von diesen Punkten nach der Peripherie gezogenen *Radii vectores* cc^{I}, cc^{II}, cc^{III} von hinten nach vorn an Länge zunehmen, so dass, je nachdem ein längerer oder kürzerer *Radius vector* auf der Tibia senkrecht zu stehen kommt, der Punkt *c* auf- oder absteigt.

Diese Hemmung der Rollung oder Abwickelung der Kondylen des Oberschenkelbeins auf der fast ebenen Fläche der Tibia wird durch die Bänder des Kniegelenks bewirkt, welche die Bewegungen desselben einschränken, und seine Gelenkflächen in steter Berührung erhalten. Solcher Bänder sind vier am Kniegelenke vorhanden: *zwei Seitenbänder, ligamenta lateralia,* welche ausserhalb zu beiden Seiten des Gelenks liegen, und *zwei Kreuzbänder, ligamenta cruciata,* welche in der Kniekehle liegen. Von diesen vier Bändern gehören zwei jedem Kondylus an. Zum inneren Kondylus gehen das innere Seitenband, Taf. IV, Fig. 1 *li*, und das hintere Kreuzband, Taf. VI, Fig. 1, 2 *cp*; zum äusseren Kondylus das äussere Seitenband, Taf. III, Fig. 1, 2 *le*, und das vordere Kreuzband, Taf. V, Fig. 1, 2, *ca*.

§ 70.

Die Seitenbänder des Kniegelenks wirken vorzugsweise bei gestreckter Lage, die Kreuzbänder auch bei der gebogenen Lage des Knies.

Um eine sichere Grundlage für die Beurtheilung der Wirksamkeit der einzelnen Bänder zu erhalten, bedienten wir uns folgenden Mittels.

Wir bestimmten auf die §§ 44 und 63 beschriebene Weise durch genaue Messungen die Grade der Winkelbewegungen, deren das Gelenk nach verschiedenen Richtungen im unverletzten Zustande fähig ist, durchschnitten hierauf das fragliche Band, und wiederholten dann die Messungen. Aus der Vergleichung beider Reihen ergab sich die Abänderung, welche das Gelenk rücksichtlich seiner Beweglichkeit durch die Durchschneidung des Bandes erlitten hatte. Auf diesem Wege und durch genaue Untersuchung der Form und Lage der Bänder und ihres Verhältnisses zu der Form der Gelenkflächen, die sie zusammenhalten, sind wir zu folgenden Resultaten geführt worden.

Wenn man die *Kapselmembran* überall wegnimmt und nur die beiden Seitenbänder und die beiden Kreuzbänder, so wie auch die halbmondförmigen Knorpel übrig lässt, so findet man, dass der Umfang der Bewegungen des Gelenks sich durch jene Wegnahme der Kapselmembran nicht merklich geändert hat, dass die Knochen noch eben so fest aneinander liegen, und alle Bewegungen noch eben so gleichmässig erfolgen. Macht man aber den umgekehrten Versuch, schneidet man alle vier Bänder durch und lässt die Kapselmembran unverletzt, mit Ausnahme eines kleinen Einschnitts, den man, um zu den Kreuzbändern zu gelangen, vorn neben der Kniescheibe am schlaffsten Theile der Kapselmembran macht, der aber die Wirksamkeit der Kapsel auf die Gelenkflächen nicht ändert, weil sie daselbst so weit und schlaff ist, dass sie nicht zum Zusammenhalten der Knochen beitragen kann, so findet man, dass der Zusammenhang des Gelenks aufgehoben ist, die Knochen klappern und schlottern, weil jeder unabhängig von dem anderen jedem äusseren Anstosse folgt. Das Kniegelenk wird demnach nicht durch die Kapselmembran, sondern durch jene vier Bänder zusammengehalten.

Als wir ferner nach Entfernung der Kapsel die *beiden Kreuzbänder* durchschnitten, und die beiden Knochen nur noch durch die beiden Seitenbänder zusammengehalten wurden, so fanden wir, dass bei *gestreckter Lage* die Festigkeit des Gelenks fast gar nicht gelitten hatte; die Knochen waren nach allen Richtungen noch eben so unbeweglich, nur konnte die Streckung um einige Grade zunehmen. Aber je mehr man das Gelenk bog, desto lockerer und beweglicher wurden seine Knochen, und schon bei einer mässigen Beugung wurden sie nicht mehr an einander gehalten, sondern wackelten und schlotterten bei jeder Bewegung. Auch wurden die Seitenbänder bei fortgesetzter Beugung nicht wieder gespannt, so dass letztere ungehemmt wuchs, bis die Knochen selbst an einander stiessen. Der Umfang der Pronation und Supination des Unterschenkels hatte um einige Grade zugenommen. Durchschnitten wir dagegen die *Seitenbänder*, und liessen die Kreuzbänder unverletzt, so verhielt es sich gerade umgekehrt. In völlig *gebogener Lage* war

die Festigkeit des Gelenks fast gar nicht geändert worden, das Gelenk war straff, die Knochen wackelten nicht, sondern wurden durch die Kreuzbänder allein fest an einander gedrückt, so wie auch ihre weitere Zusammenbeugung durch dieselben gehemmt. Verminderte man aber die Beugung, so war der Zusammenhang des Kniegelenks aufgehoben, und der Unterschenkel drehte sich von selbst durch seine eigene Schwere fast um ein Viertel eines Kreises, so, dass die Fusszehen sich nach aussen kehrten, indem die Kreuzbänder aus ihrer früheren kreuzförmigen und schiefen Lage zur parallelen und vertikalen übergingen. Die Gelenkflächen entfernten sich um ein beträchtliches Stück von einander. Die Kreuzbänder vermochten daher zwar die Drehung nach innen zu beschränken, indem sie sich schraubenförmig um einander wanden, und die Gelenkflächen fest an einander pressten, aber nicht nach aussen; denn hierbei drehten sie sich auf und verloren ihre kreuzförmige Lage. Es geht hieraus hervor, dass die Seitenbänder in der gestreckten Lage, die Kreuzbänder in der gebogenen Lage die Bewegungen im Knie hemmen, und dass in dem letzteren Falle die Seitenbänder blos dazu dienen, die Kreuzbänder an der Aufdrehung, die sie einander parallel machen würde, zu verhindern.

§ 71.

Die Seitenbänder des Kniegelenks spannen sich bei der Streckung und verhindern die Pronation und Supination, erschlaffen bei der Beugung und gestatten dann die Pronation und Supination.

Vergleicht man die Seitenbänder des Kniegelenks mit denen des Ellenbogengelenks, so findet man in ihrer Wirkung eine grosse Verschiedenheit. Die Seitenbänder des Ellenbogengelenks sind straff gespannt und behalten diese Spannung gleichmässig in allen Lagen des Gelenks, weil ihre oberen Enden an den Endpunkten der Drehungsaxe selbst befestigt sind. Sie erhalten daher die Gelenkflächen in steter Berührung und verhindern dadurch, die Streckung und Beugung ausgenommen, jede andere Bewegung der Ulna, die sie mit dem Oberarme verbinden. Auch das Kniegelenk würde nur gestreckt und gebeugt werden können, wenn seine Seitenbänder, wie die des Ellenbogengelenks, stets straff gespannt wären. Durch eine eigenthümliche Einrichtung desselben aber geschieht es, dass seine Seitenbänder, besonders das äussere, in gebogener Lage schlaff sind und dann ausser der Streckung und Beugung auch die Drehung der Tibia um ihre Längsaxe gestatten, dass ihre Spannung aber mit der Streckung zunimmt und bei völliger Streckung so gross wird, dass sie alsdann jene Drehung gänzlich verhindern. Es wird dieses Verhältniss durch Taf. III anschaulich. In Fig. 1 sieht man das Knie in gestreckter Lage, das äussere Seitenband *le*

erscheint daher gespannt; in Fig. 2 dagegen sieht man das Knie gebogen, das äussere Seitenband erscheint daher erschlafft. Die Ursache davon ist folgende. Wir haben gesehen, dass die Gelenkflächen der Kondylen nicht drehrund, sondern einer Spirale ähnlich gekrümmt sind, deren erstes Stück einer Cylinderfläche nahe kommt. (Taf. X, Fig. 4.) An der Axe *c* des Cylinders, dem sich der erste Theil der spiralförmig gekrümmten Fläche der Kondylen nähert, befestigen sich zu beiden Seiten die Seitenbänder mit ihren oberen Enden (man vergleiche Taf. III und Taf. IV, Fig. 1). Denkt man sich nun von dem Punkte *c* (Taf. III, Fig. 1) Linien nach der Peripherie gezogen, so sind nach § 68 die Radien cc^{I}, cc^{II}, cc^{III} fast von gleicher Länge. Wird daher das Gelenk so gebogen, dass die Fläche der Tibia successive mit den Punkten c^{I}, c^{II}, c^{III} in Berührung kommt, so müssen die beiden Seitenbänder in allen diesen Lagen gleichmässig erschlafft sein, und daher auch die horizontale Drehung der Tibia in gleichem Grade gestatten. Betrachtet man aber die darauf folgenden Radien cc^{IV}, cc^{V}, so bemerkt man, dass sie rasch an Grösse zunehmen. Wird daher das Knie weiter gestreckt, so dass c^{IV} und c^{V} mit der Fläche der Tibia in Berührung kommt, so muss der Punkt *c* um so viel in die Höhe steigen, als die Radien an Grösse zunehmen. Die Seitenbänder müssen sich daher alsdann spannen und dadurch die horizontale Drehung der Tibia mehr und mehr beschränken. Haben dieselben sich aber völlig gespannt, so pressen sie beide Gelenkflächen heftig zusammen und verhindern alsdann nicht nur die horizontale Drehung der Tibia, sondern auch die weitere Streckung des Gelenks. Diese Spannung der Seitenbänder tritt aber ein, wenn das Knie die Taf. III, Fig. 1 dargestellte Lage erhält, d. i., wenn beide Knochen in einer geraden Linie liegen. Das Knie kann sich alsdann nur beugen, und es braucht daher in dieser Lage nur eine einzige Flechse, das *ligamentum patellae*, gespannt zu werden, um das Bein in eine einzige völlig steife Stütze zu verwandeln. — Die genauere Kenntniss der Konstruktion des Kniegelenks kann zur Erklärung dienen, warum nach unseren früheren Messungen, § 67, die horizontale Drehung der Tibia, die Pronation und Supination, bei allen höheren Beugungsgraden des Knies fast gleich und sehr gross gefunden wurde, während sie bei Annäherung an die gestreckte Lage rasch abnahm und mit der Streckung zusammen endlich völlig gespannt wurde. Ferner wird daraus die gleichzeitige Hemmung der Streckung und Verhinderung der Pronation und Supination erklärt, welche auch dann noch bei gestreckter Lage des Knies Statt fand, wenn alle Bänder mit Ausnahme der Seitenbänder durchschnitten waren.

Wir haben gezeigt und durch Messungen bewiesen, dass die oberen Ansatzpunkte *c*, *c* der Seitenbänder, bei der Streckung und Beugung

auf- und abwärts und zugleich vor- und rückwärts gehen. Diese Bewegung der Kondylen ist aber auf beiden Seiten nicht gleich, sondern beim äusseren Kondylus grösser, so dass derselbe gewissermaassen um den inneren etwas herumgeht, wodurch das äussere Seitenband schneller als das innere abgespannt wird. Diese Ungleichheit der Bewegung hängt von der unsymmetrischen Gestalt der Kondylen sowohl, als ihrer Bänder ab.

Das *innere Seitenband des Knies, ligamentum laterale internum,* welches man Taf. IV, Fig. 1, abgebildet sieht, liegt, wenn das Knie gestreckt ist, senkrecht und ist oben spitz und unten breit. Das untere, fast 20 Millimeter breite Ende geht an die Tibia und setzt sich noch an der Tibia ein Stück weiter fort. Das ganze Band mit dieser Verlängerung an der Tibia ist fast 90 Millimeter lang. Wegen der grossen Breite seines unteren Endes spannen sich seine Bündel nicht auf einmal, sondern nach einander, und schon aus diesem Grunde erschlafft das Band seiner ganzen Breite nach nicht so vollkommen, als das äussere Seitenband. Das *äussere Seitenband, ligamentum laterale externum,* Taf. III, Fig. 1, welches vom rauhen Hügel des äusseren Kondylus zum Köpfchen des Wadenbeins geht, ist ein weit kürzeres und schmäleres, aber weit dickeres und rundlicheres Band, als das vorige, und geht am gestreckten Knie nicht wie dieses gerade, sondern schief von oben nach unten herab, wenn daher das Gelenk gebeugt wird und der äussere Kondylus auf der Tibia rückwärts rollt, so kommt der obere Ansatzpunkt mehr und mehr senkrecht über dem unteren zu liegen. Das äussere Seitenband erschlafft daher vollkommener, als das innere, nicht blos, weil seine Bündel gleichzeitig sich spannen und erschlaffen, sondern auch weil bei der Beugung seine Befestigungspunkte zugleich sich einander beträchtlich mehr, als die des anderen, nähern. In diesem erschlafften Zustande ist es Taf. III, Fig. 2, abgebildet worden. Daher kommt es denn, dass das äussere Band dem äusseren Kondylus eine freiere Bewegung, und daher bei der Beugung und Streckung ein grösseres Stück vor- und rückwärts zu rollen gestattet, als das innere Seitenband dem inneren Kondylus, der also das unbeweglichere ist, und um welchen der andere ein Stückchen herumgeht. Daher kommt es auch, dass das innere Seitenband, welches sich an seinen benachbarten Theilen minder zu verschieben braucht, mit denselben theilweise verwachsen ist, sowohl mit der Kapselmembran, in welche es ohne deutliche Grenze nach hinten übergeht, als auch mit dem zwischen beiden Knochen gelegenen inneren halbmondförmigen Knorpel. Das äussere Seitenband, welches sich an den benachbarten Theilen sehr beträchtlich bewegen muss, ist von der Kapselmembran geschieden und von der Flechse des *popliteus* und dem äusseren halbmondförmigen Knorpel durch dazwischen

eindringende beutelförmige Fortsätze der Synovialhaut (siehe § 77) ganz getrennt, wodurch seine Verschiebung erleichtert und die platte, abgerundete Form, die wir an ihm bemerken, hervorgebracht wird.

§ 72.

Die Kreuzbänder sind theilweise sowohl bei der Beugung als Streckung gespannt. Sie nöthigen die Kondylen des Oberschenkels bei der Beugung oder Streckung auf der Oberfläche der Tibia zu rollen, und hindern sie bei gleichbleibender Beugung oder Streckung sich auf derselben zu verschieben.

Da die Knochen des Ober- und Unterschenkels im Kniegelenke bei der Streckung von den beiden Seitenbändern, bei der Beugung von den beiden Kreuzbändern an einander fest oder in Berührung erhalten werden, so können die Kondylen des Oberschenkelbeins sich in keiner Lage von der Fläche der Tibia entfernen und auch ohne Streckung und Beugung sich weder vorwärts noch rückwärts verschieben. Durchschneidet man das eine oder andere Kreuzband, oder auch beide zugleich, ohne die Seitenbänder zu verletzen, und schont dabei selbst die Kapselmembran so viel als möglich, indem man nur in dem vorderen Theile derselben, um von da aus zu den Kreuzbändern zu gelangen, eine Oeffnung macht, so kann man sich überzeugen, in wie fern der Mechanismus des Gelenks dadurch gestört wird, und daraus auf ihre Verrichtung schliessen. Hat man beide Kreuzbänder durchschnitten, so werden die beiden *condyli femoris* auf der Fläche der Tibia nicht mehr fest und unbeweglich gehalten, sondern man kann sie, wenn das Gelenk nicht gestreckt ist, auf der Tibia aus ihrer natürlichen Lage entfernen und vorwärts und rückwärts schieben, ohne zugleich die Beugung zu vermehren oder zu vermindern. Hat man das vordere Kreuzband durchschnitten, so lassen sich die Kondylen auf der Tibia nur rückwärts, hat man nur das hintere Kreuzband durchschnitten, so lassen sie sich auf der Tibia nur vorwärts verschieben. Es ist hernach kein Zweifel, dass die Kreuzbänder in gebogener Lage des Gelenks, wo es die Seitenbänder nicht können, die Verschiebung beider Knochen an einander ohne eine gleichzeitige Beugung und Streckung verhindern. Aber die Kreuzbänder hindern, ungeachtet sie immer gespannt sind, doch nicht die Beugung und Streckung des Beins, weil sie nicht, wie die beiden Seitenbänder, zugleich und in allen ihren Theilen gespannt werden. So kann es geschehen, dass bei der Beugung und Streckung des Knies diese Bänder innerhalb weiter Schranken eine fast gleiche Totalspannung ausüben, indem das eine Band um eben so viel an Spannung gewinnt, als das andere verliert. In gebogener Lage ist das vordere Kreuzband fast ganz schlaff, das

hintere aber gespannt. Beginnt man nun das Gelenk zu strecken, so erschlaffen einzelne Bündel des hinteren Kreuzbandes, während andere noch gespannt bleiben. In dem Maasse aber, als die Bündel des hinteren Kreuzbandes erschlaffen, beginnen sich die des vorderen zu spannen, bis bei mässiger Streckung das hintere Kreuzband gar nicht mehr, sondern allein das vordere gespannt ist. Bei noch weiterer Streckung spannt sich das hintere Kreuzband mit seinem hinteren Bündel von Neuem. Durch diese successive Spannung beider Kreuzbänder und ihrer Bündel werden die Kondylen des Oberschenkelbeins, wenn das Gelenk sich streckt oder beugt, *genöthigt*, auf der Fläche der Tibia vor- und rückwärts zu *rollen*, so dass man, so lange die Kreuzbänder nicht durchschnitten sind, dieses Rollen gar nicht verhindern kann. Das vordere Kreuzband nöthigt die Kondylen, bei der Streckung vorwärts, das hintere nöthigt sie, bei der Beugung rückwärts zu rollen. In der *gestreckten Lage* tragen alle vier Bänder der Kniegelenke bei, die weitere Streckung zu hemmen und dem Beine diejenige Steifigkeit und Festigkeit zu geben, die es in dieser Lage zu seiner Verrichtung bedarf. Die *Beugung* des Kniegelenks dagegen wird fast nur durch die Spannung des hinteren Kreuzbandes gehemmt. Es geht dieses aus folgendem Versuche hervor. Wir durchschnitten an einem Kniegelenke nach Entfernung der Kapsel nur das vordere Kreuzband und liessen das andere unverletzt, und fanden alsdann, dass die Hemmung der Beugung nur 6^0 später eintrat; wir durchschnitten darauf an einem anderen Gelenke nur das hintere Kreuzband, und liessen das vordere unverletzt, und fanden alsdann, dass gar keine Hemmung der Beugung durch Bänder mehr Statt fand, sondern dass beide Knochen so weit gedreht werden konnten, bis sie zusammen stiessen, woraus hervorgeht, dass nur das hintere Kreuzband die Hemmung der Beugung bewirkt und von dem vorderen Kreuzband dabei nur wenig unterstützt werden kann.

So wie die Seitenbänder an den äusseren, von einander abgekehrten Seiten der beiden Kondylen entspringen, so entspringen die beiden Kreuzbänder (Taf. V und VI) an den inneren, der Kniekehle zugekehrten Seiten derselben, von wo sie beide zur Mittellinie der Kniegelenkfläche der Tibia herabgehen; aber sie entspringen nicht wie jene in der Axe *c* (Taf. X, Fig. 4) der Cylinderfläche, mit der ein grosser Theil der spiralförmigen Kondylenfläche fast zusammenfällt, sondern excentrisch davon, und nicht in einem Punkte, sondern in einer Linie: das vordere längs einer ziemlich senkrechten Linie *ca* (Taf. V) am äusseren Kondylus, das hintere längs einer horizontalen *cp* (Taf. VI) am inneren Kondylus des Oberschenkelbeins. Alle Punkte dieser Ansatzlinien beschreiben daher, wenn die Kondylen sich auf der Tibia drehen, Kreise um jene Cylinderaxe, so dass, wenn der eine Endpunkt der Ansatzlinie herabsteigt, ihr

anderer Endpunkt heraufsteigt, und folglich, während das eine Bündel erschlafft, das andere sich spannt.

Taf. V, Fig. 1, zeigt das vordere Kreuzband, *ligamentum cruciatum anticum* des rechten Kniegelenks. Der innere Kondylus des Oberschenkelbeins ist weggenommen, so dass man den äusseren Kondylus von seiner inneren, der Kniekehle zugekehrten Seite sieht, und erkennen kann, wie an ihr das vordere Kreuzband *ca* befestigt ist. Man sieht daselbst, dass es bei gestreckter aufrechter Lage in einer senkrechten Linie *c'a'* am äusseren Kondylus fest sitzt. Zwei Reihen von Punkten deuten an, welche Lage das äussere Seitenband an der äusseren Seite des Knies hat, und wo seine obere Befestigung ist. Denkt man sich nun, dass das so gestreckte Bein um 90° gebogen würde, so wird sich zwar das von *a'* entspringende Bündel nach hinten, das von *c'* entspringende aber in gleichem Maasse nach vorn drehen, und folglich in dem Grade als ersteres erschlafft, letzteres sich spannen müssen. Fig. 2 zeigt diese veränderte Lage des Bandes.

Taf. VI, Fig. 1, zeigt das hintere Kreuzband, *ligamentum cruciatum posticum*, des linken Kniegelenks. Der äussere Kondylus des Oberschenkelbeins ist weggenommen, so dass man den inneren Kondylus von seiner der Kniekehle zugekehrten Seite sieht, und erkennt, auf welche Weise das hintere Kreuzband *cp* an ihm befestigt ist. Die Linie, nämlich *c'p'*, in der es am inneren Kondylus festsitzt, liegt am gestreckten aufrechten Knie horizontal. Wird daher das Bein um 90° gebogen, so muss der Punkt *c'* herab, *p'* aber in gleichem Maasse heraufsteigen, und folglich das in *c'* befestigte Bündel, welches gespannt war, erschlaffen, das in *p'* befestigte Bündel aber, welches schlaff war, allmählig sich spannen, wie es Fig. 2 wirklich darstellt.

§ 73.

Befestigung der Kreuzbänder auf der horizontalen Ebene der Tibia.

Die Art, wie sich die *unteren* Enden der Kreuzbänder auf der horizontalen Fläche der Tibia befestigen, scheint auf die Bewegung des Gelenks in horizontaler Ebene, auf die Pronation und Supination, eine ähnliche Beziehung zu haben, als die Befestigung der *oberen* Enden an die vertikalen Seitenwände der beiden Kondylen des Oberschenkels auf die Bewegung des Gelenks in vertikaler Ebene, auf die Streckung und Beugung. Die Befestigungsorte der beiden Kreuzbänder auf der Gelenkfläche der Tibia fallen zwar ungefähr in die Mittellinie derselben, der eine nach vorn, der andere nach hinten. Bei genauerer Betrachtung findet man aber, dass sie ganz unsymmetrisch zu dieser Linie liegen. Das vordere Kreuzband, welches vom äusseren Kondylus des

Oberschenkelbeins kommt, geht nach vorn zur Fläche der Tibia herab und befestigt sich daselbst in der Grube vor den Hügeln der *eminentia intermedia*, und zwischen beiden Spitzen derselben in einer winkelförmig gebrochenen Linie, deren einer Schenkel von hinten nach vorn, deren anderer Schenkel von rechts nach links geht. Hierdurch zerfällt das Band in zwei Theile, in einen hinteren und vorderen. Der *hintere* Theil, welcher sich in dem von hinten nach vorn gehenden Schenkel befestigt, ist unten schmal, und wird an seinem oberen Ansatzpunkte am *condylus externus femoris* breit; der andere *vordere* Theil, welcher sich an dem queren, von rechts nach links gehenden Schenkel befestigt, ist unten breit und oben, wo er über dem anderen liegt, schmal. Wenn das Knie gebogen wird, so winden sich beide Theile um einander. Siehe Taf. V, Fig. 2.

Das hintere Kreuzband, welches vom inneren Kondylus des Oberschenkelbeins kommt, geht nach hinten zur Fläche der Tibia herab, und befestigt sich am Rande derselben in der Vertiefung zwischen beiden Kondylen der Tibia. Seine Ursprungsstelle liegt daher 15—20 Millimeter hinter der des vorderen Kreuzbandes, und näher, als dieses, an der Linie, welche die Gelenkfläche in zwei seitliche Hälften theilt. Auch an diesem Bande kann man zwei Theile unterscheiden, von welchen der hintere oben breit und unten schmal, der vordere oben schmal und unten breit ist. Der erstere setzt sich am Oberschenkel weiter nach vorn, am vorderen bogenförmigen Rande des die Kondylen von einander trennenden Sinus, an, der andere ist weiter nach hinten, am Kondylus, angewachsen, und seine Fasern haben daher fast eine senkrechte Lage. Dieses letztere Bündel ist es, welches bei beträchtlicher Streckung von Neuem stark gespannt wird.

§ 74.

Hemmung der Pronation und Supination durch die Bänder am äusseren Kondylus.

Es ist § 71 erwähnt worden, dass bei der Bewegung des Knies beide Kondylen des Oberschenkels sich nicht gleich verhalten, sondern, dass sich bei der Beugung und Streckung der äussere Kondylus auf der Fläche der Tibia mehr *rolle,* der innere Kondylus auf ihr mehr *schleife,* dass ferner bei der Pronation und Supination die senkrechte Drehungsaxe ungefähr mit dem inneren Kondylus zusammenfalle, und der äussere Kondylus daher um ihn herumgehe. Die Ursache der grösseren Beweglichkeit des äusseren Kondylus im letzteren Falle liegt darin, dass in der gebogenen Lage die Bänder des äusseren Kondylus (das äussere Seitenband und vordere Kreuzband) schlaffer sind, als die des inneren Kondylus (das innere Seitenband und das hintere Kreuzband).

Durch die grössere Straffheit der Bänder am inneren Condylus wird nämlich die Drehungsaxe für die Pronation und Supination in diesen selbst verlegt, während der Grad der Erschlaffung der Bänder am äusseren Kondylus die Grenze bestimmt, bis zu welcher die Pronation und Supination fortgesetzt werden kann. Diesen verschiedenen Gebrauch der Bänder am inneren und äusseren Kondylus haben wir an einem Gelenke, wo die Kapselmembran entfernt worden war, durch Messung und Vergleichung des Umfangs seiner Bewegungen bestätigt. Nach Durchschneidung des äusseren Seitenbands ergab sich nämlich durch die Vergleichung des vorher und nachher gemessenen Umfangs der Drehung, dass die Pronation um 9^0 zugenommen hatte, die Supination unverändert geblieben war. Nach gleicher Durchschneidung des vorderen Kreuzbands ergab sich, dass die Supination um 4^0 zugenommen hatte und die Pronation nicht weiter verändert worden war. Man sieht hieraus, dass die horizontale Drehung des äusseren Kondylus des Oberschenkels um den inneren Kondylus nach innen durch das äussere Seitenband, nach aussen durch das vordere Kreuzband gehemmt wird, weil sie nur in der einen oder anderen Richtung zunimmt, je nachdem dieses oder jenes Band durchschnitten wird.

§ 75.

Die halbmondförmigen Knorpel zwischen den Gelenkflächen des Knies verschieben sich auf der Tibia zugleich mit den Kondylen des Oberschenkelbeins.

Zwischen den Kondylen des Oberschenkelbeins und der Tibia rings um die Stelle, wo sich beide Knochen berühren, liegen zwei Knorpelringe, welche wegen ihrer Gestalt die halbmondförmigen Knorpel genannt werden und aus einem mehr bandartigen als knorpeligen Gewebe bestehen. Taf. V sieht man den inneren, Taf. VI den äusseren entblösst auf der Gelenkfläche der Tibia liegen. Diese horizontalen Halbringe kehren nach unten der Tibia eine ebene, nach oben den Kondylen eine konkave Seite zu. Die letztere Seite nähert sich von aussen nach innen der ersteren, wie der Zwischenraum zwischen den Kondylen und der Tibia es nöthig macht, und vereinigen sich, wo dieser ganz verschwindet, in eine scharfe Kante, welche am äusseren Knorpel die Gestalt eines Halbkreises, am inneren Knorpel die Gestalt eines seiner Länge nach halbirten Ovals hat. Beide liegen frei und unverwachsen in der um das Knie herumlaufenden Rinne. Der äussere Rand des Knorpels, der dem inneren scharfen Rande parallel ist, ist 5 bis 7 Millimeter dick. Da die Kondylen des Oberschenkels, wie wir gesehen haben, nicht stets mit denselben Punkten der Tibia in Berührung bleiben, sondern ihre

Lage auf derselben ändern, theils beide zugleich durch Rollung bei der Streckung und Beugung, theils der äussere allein durch horizontale Drehung um den anderen, so leuchtet ein, dass die halbmondförmigen Knorpel bei ihrer so eben beschriebenen Form den Bewegungen der beiden Kondylen zu folgen genöthigt sind, und sich daher auf der fast ebenen Fläche der Tibia müssen verschieben können. Wirklich besitzen diese Knorpel eine solche Beweglichkeit, und zwar der äussere Knorpel, welcher dem äusseren beweglicheren Kondylus angehört, in weit höherem Grade als der innere. Die beiden Enden des, einem wenig offenen *C* ähnlichen, äusseren halbmondförmigen Knorpels befestigen sich nämlich dicht neben einander vor und hinter der Spitze der *eminentia intermedia*, und gestatten wegen dieser nahen Vereinigung diesem Knorpel, sich beträchtlich vorwärts zu schieben. Die Bewegung desselben wird aber ferner noch dadurch erleichtert, dass er an der äusseren Seite des Gelenkes nicht mit der Kapselmembran verwachsen, sondern vielmehr durch einen ihn überziehenden Fortsatz der Synovialhaut vor Friktion an den an ihm vorbeigehenden Theilen geschützt ist. Die Enden des inneren halbmondförmigen Knorpels, welcher den unbeweglicheren Kondylus umgiebt, und einem sehr weit geöffneten C gleicht, befestigen sich vor und hinter der *eminentia intermedia* weit von einander entfernt, und gestatten diesem daher nur eine sehr geringe Bewegung. Sein äusserer Rand (an der inneren Seite des Knies) ist daher auch durch keinen Fortsatz der Synovialhaut vor Friktion geschützt, sondern vielmehr mit der Kapselmembran des Gelenks fest verwachsen. Vom inneren Mondknorpel, nahe an seinem hinteren Ende, geht ein Band ab, welches das hintere Kreuzband zum inneren Kondylus begleitet und Beziehung auf seine Bewegungen zu haben scheint. Ein ähnliches Band geht zuweilen auch von demselben Mondknorpel, nahe an seinem vorderen Ende, ab und begleitet das vordere Kreuzband zum äusseren Kondylus. In der Regel aber fehlt dieses letztere Band. Beide Knorpel sind vorn meist durch ein queres Band mit einander verbunden.

§ 76.

Die halbmondförmigen Knorpel dienen zum Verschluss, zur Vertheilung des Drucks, zur Spannung und zum Schutz des Kniegelenks gegen heftige Erschütterung.

Da die Gelenkflächen des Knies sich nur in wenigen Punkten berühren, und um diese Punkte herum grosse Lücken und Räume offen lassen, die bei der Bewegung des Gelenks fortwährend verrückt werden, weil die Kondylen des Oberschenkelknochens auf der Tibia wie Räder vor- und rückwärts rollen, so würden häutige Theile in der Nähe des Gelenks, z. B. schlaffe Theile der Kapselmembran, sehr in Gefahr kommen,

zwischen die Gelenkflächen eingeklemmt zu werden, um so mehr, da die Luft vom Gelenke selbst ausgeschlossen ist, und daher diese Häute in die von den Knochen verlassenen Räume mit Gewalt hineintreiben würde. Diesem Uebelstande ist durch die halbmondförmigen Knorpel vorgebeugt, welche die mit ihnen verwachsene Kapselmembran durch ihre Steifigkeit fortwährend von den leeren Räumen zwischen beiden Gelenkflächen abhalten, indem sie diese Räume selbst erfüllen und von den Kondylen verschoben werden können. Während die Kondylen des Oberschenkelknochens sich vor- oder rückwärts rollen, schieben sie auch diese Knorpel vorwärts oder rückwärts, und diese drängen wiederum die Kapselmembran vor sich her.

Der Dienst der halbmondförmigen Knorpel ist für den Mechanismus der Kniegelenke sehr wichtig, *erstens*, weil sie, indem sie den Raum erfüllen, welchen die Gelenkflächen zunächst ihren Berührungspunkten lassen, *den Druck auf eine grössere Fläche vertheilen*, ähnlich dem Kranze, welchen man auf den Kopf setzt, um Lasten darauf zu tragen; sie hindern aber auf keine Weise die Bewegungen der Knochen gegen einander, weil sie vermöge ihrer Elasticität und Beweglichkeit jedem einseitigen Drucke ausweichen. *Zweitens* dienen die halbmondförmigen Knorpel dazu, die Spannung der Bänder bei der Bewegung gleichmässiger zu vertheilen, weil sie ihnen, wenn sie gespannt sind, nachgeben, sie aber, wenn sie nachlassen, mit geringer Kraft spannen, indem sie durch ihre Elasticität die Knochen aus einander zu treiben streben. Sie verhindern dadurch das Wackeln der Knochen, ähnlich der Pressfeder, durch welche man den todten Gang einer Schraube verhindert. Dass aber die halbmondförmigen Knorpel wirklich diesen Dienst leisten, ergiebt sich daraus, dass, wenn man die Knorpel, ohne irgend sonst die Bänder zu verletzen, hinwegschneidet, die beiden Gelenkflächen in gewissen Lagen des Gelenks in der That zu klaffen und gegen einander zu wackeln beginnen, was also durch die Knorpel verhindert wurde. Die kleinen Vibrationen endlich, welche sich durch die langen Knochen des Oberschenkel- und Unterschenkelbeins zum Kniegelenke fortpflanzen und die beim Gehen und Laufen zumal sehr heftig sein müssen, würden durch Rütteln und Stossen dem Gelenke Nachtheil bringen. Die beiden Gelenkknorpel dienen daher endlich auch *zur Dämpfung jener Vibrationen* und heben ihren nachtheiligen Einfluss auf das Gelenk auf.

§ 77.

Die eigenthümliche Bildung der Synovialhaut des Kniegelenks wird durch Injektion mit erstarrender Flüssigkeit deutlich gemacht.

Dieser von anderen Gelenken abweichende Bau des Kniegelenks hat auch eine andere Bildung der Synovialhaut zur Folge. Ausser den

Gelenkflächen der beiden Knochen selbst und der davorliegenden Kniescheibe überzieht dieselbe auch die zwischen diese Knochen eingeschobenen halbmondförmigen Knorpel auf ihrer oberen und unteren Seite, und bildet allenthalben beutelförmige Verlängerungen, welche zwischen benachbarte Theile eindringen und, gleich Schleimbeuteln, die Reibung derselben an einander verhindern. Um eine deutliche Ansicht und Vorstellung von den mannigfaltigen Verwickelungen der Synovialhaut des Kniegelenks und von ihren vielen Fortsätzen zu erhalten, haben wir den allenthalben geschlossenen Sack derselben durch ein durch die Mitte der Kniescheibe gebohrtes Loch mit erstarrender Flüssigkeit völlig ausgefüllt, und haben ein solches injicirtes Knie Taf. VII abgebildet.

Der von dem an sich sehr grossen Synovialsacke des Knies umschlossene Raum ist dadurch sehr verkleinert, dass derselbe von vielen Seiten her in sich selbst zurückgestülpt ist. Mit diesen zurückgestülpten Theilen seiner Wände überkleidet er die im Kniegelenk an einander beweglichen Knochen und Knorpel, wodurch sie auf den Seiten, die sie einander zukehren, eine glatte, stets schlüpfrige Oberfläche erhalten. Zwei solche Einstülpungen, welche das untere Ende des Oberschenkelbeins und das obere Ende der Tibia überkleiden, befinden sich an der oberen und unteren Seite des Sackes; zwei andere Einstülpungen, welche die beiden halbmondförmigen Knorpel umhüllen, zu beiden Seiten desselben, eine fünfte, vordere Einstülpung überkleidet die hintere dem Gelenke zugewandte Fläche der Kniescheibe; eine sechste, hintere, dringt in die Kniekehle ein und überkleidet die beiden Kreuzbänder. Die untere und vordere Einstülpung sind nur sehr flach, die obere dagegen sehr tief. Die beiden seitlichen bilden zwei horizontale Falten, die hintere eine senkrechte Falte.

Ausser diesen sechs Einstülpungen, welche die einander berührenden Knochen und Knorpel überziehen, hat der Synovialsack des Knies eine Anzahl grösserer und kleinerer Ausstülpungen oder beutelförmiger Fortsätze, welche zwischen benachbarte Organe eindringen um sie gegen einander und gegen die festeren Theile vor Reibung zu schützen. Der eine dieser Fortsätze *a*, welcher auf der vorderen Seite des Gelenks nach oben geht, ist sehr gross und liegt zwischen der gemeinschaftlichen Flechse der Strecker des Knies und dem Oberschenkelbeine. Er mindert die Reibung dieser Flechse am Knochen. Ein zweiter *b* liegt an der äusseren Seite des Gelenks nach hinten, steigt zwischen dem Gelenke und der Flechse des *popliteus* herab und erleichtert die Bewegungen sowohl dieser Flechse, als des äusseren halbmondförmigen Knorpels, dessen äusseren Rand er überzieht. Häufig, wie z. B. in dem abgebildeten Falle, steht mit diesem Beutel des grossen Kniegelenksackes der Synovialsack des Wadenbeinköpfchens in Verbindung und ist alsdann

als eine Fortsetzung desselben zu betrachten. Ein dritter kleinerer Fortsatz *c* endlich liegt gleichfalls an der äusseren Seite des Gelenks (Fig. 3), schlägt sich zwischen die Flechse des *popliteus* und das äussere Seitenband, und vermittelt die Bewegung beider Theile an einander. Die beiden letzteren beutelartigen Fortsätze umschliessen rings die Flechse des *popliteus*, indem sie sich dicht aneinander legen, so dass es den Anschein bekommt, als durchbohre jene Flechse, wie die des *biceps* am Schültergelenke, den Gelenksack und werde von einem Kanale desselben umschlossen, was aber nicht der Fall ist. Ausser den angeführten grösseren Fortsätzen und Falten finden sich noch allenthalben am Kniegelenksacke viele kleinere, sowohl nach aussen gekehrte, als nach innen zurückgeschlagene, zum Theil mit Fett erfüllte Fortsätze und Falten, welche blos zur Vergrösserung der Oberfläche des freien Theiles des Synovialsackes dienen, um sie zur Absonderung des Gelenksaftes fähiger zu machen.

Die Synovia oder der Gelenksaft wird nämlich nicht von dem fest angewachsenen glatten Ueberzuge der Gelenkflächen selbst, sondern von dem freien Theile der Synovialhaut abgesondert: denn der die Gelenkflächen überziehende Theil der Synovialhaut ist fast ganz gefässlos, glatt und mit den gleichfalls fast gefässlosen halbmondförmigen Knorpeln und knorpeligen Gelenküberzuge der Knochen fest verwachsen. Der freie Theil der Synovialhaut dagegen, der die benachbarten Theile, die Kapselmembran, die Sehnen und Bänder, überkleidet, oder an den Knochen nur lose anliegt, besitzt alle Eigenschaften einer secernirenden Haut. Er besitzt nicht nur ein sehr dichtes Gefässnetz, sondern erhält auch Nervenzweige vom *nervus cruralis,* die wir nicht allein bis zur Kapsel verfolgt haben, sondern auch durch dieselbe hindurchtreten sahen. Dieses dichte Gefässnetz des freien Theiles der Synovialhaut muss als ein wahres Sekretionsorgan betrachtet werden. Um demselben eine hinreichende Ausdehnung zu verschaffen, hat die Natur, wie in den Drüsen, die absondernde Oberfläche durch Falten und Fortsätze vergrössert, welche theils in die Höhle des Sackes selbst einspringen, theils nach aussen hervorragen. Hierher gehören die grösseren Falten in der Höhle des Sackes, wie das *ligamentum mucosum*, die *ligamenta alaria* und die Fettbeutel, die, wenn sie auch keine Drüsen, wie Haver fälschlich behauptet, doch sehr gefässreich sind und die absondernde Oberfläche vergrössern. Besonders aber dienen dazu die unzähligen sehr dünnen und kaum sichtbaren zottenartigen Fältchen, welche den freien Theil der Synovialhaut sammetartig bedecken. Hierher gehören ferner die nach aussen gekehrten beutelförmigen Fortsätze, welche sich im Umfange des Gelenks in grosser Anzahl finden und in den Abbildungen mit Injektionsmasse erfüllt sind. Viele von ihnen sind gross und weit, andere

dagegen sehr klein und ragen, wie Knospen oder Bälge, *folliculi*, zwischen den Fasern der Kapselmembran, z. B. unterhalb der *cartilago semilunaris*, oder auch vorn auf der Tibia hervor. Manche dringen sogar zwischen den Fasern der *cartilago semilunaris* nach aussen.

Schneidet man die Synovialhaut auf, so findet man an Stellen, wo der angewachsene Theil der Synovialhaut in den freien übergeht, kleine Spalten und punktförmige Oeffnungen. Erfüllt man den Synovialsack sehr vollkommen mit erstarrender Flüssigkeit, so dringt sie durch diese Spalten und Oeffnungen in kleine den *folliculis* nicht unähnliche Beutelchen, welche zwischen den Sehnenfasern äusserlich hervorragen. Fig. 1 sind bei *d* dergleichen erfüllte *folliculi* herauspräparirt und sichtbar gemacht.

§ 78.

Die Kapselmembran des Kniegelenks mit ihren Sehnenbündeln schützt das Kniegelenk, ohne seine Bewegungen zu beschränken.

Das Kniegelenk ist von einer sehnigen Kapsel umschlossen, welche auf ihrer inneren Seite von dem freien Theile der Synovialhaut überkleidet und fest damit verwachsen ist. Ausser dem Schutze, den diese Kapsel dem Gelenke selbst und der von ihr bedeckten zarten Synovialhaut gewährt, dient sie auch den Flechsen mehrerer Muskeln zum Ansatz. Durch die Sehnenfasern dieser Flechsen verstärkt, ist sie an diesen Stellen sehr stark und fest. Am oberen und unteren Rande der Kapselmembran vereinigen sich an vielen Stellen ihre Fasern zu Bündeln, durch welche sie an die Knochen befestigt wird. Die Sehnenbündel oder Bänder der Kapsel beschränken jedoch keineswegs die Bewegungen der Knochen gegen einander, sondern dienen blos bei denselben die Faltung der Kapselmembran zu verhüten. Ein solches Band der Kapsel scheint das *ligamentum laterale externum breve* zu sein, welches, wenigstens in den von uns untersuchten Fällen, wenn es überhaupt vorhanden war, von dem Köpfchen der Fibula nur an die Kapsel, aber nicht an den äusseren Kondylus selbst ging. Hierher gehört ferner das *ligamentum popliteum*. Ueber die hinten zwischen beiden Condylen gelegene Hohlkehle laufen nämlich Sehnenbündel, in der gestreckten Lage des Knies, wo der hintere Theil der Kapselmembran gespannt ist, schief von oben und aussen nach unten und innen. Diese Sehnenbündel, deren Fasern vielfach durch Fett und Gefässe getrennt sind, gehen fast sämmtlich nicht vom äusseren Kondylus des Oberschenkels zur Tibia, sondern nur von einem Theile der Kapsel zum anderen. Nur wenige derselben sind unten an die Tibia angewachsen. Mit diesen Bündeln hängt die Sehne des *musculus gastrocnemius externus* und *semimembranosus*, die sich beide hinten an die Kapsel befestigen, zusammen. Beugt man daher

das Knie, indem man die Knochen unmittelbar anfasst, so erschlafft und faltet sich der hintere Theil der Kapselmembran sehr beträchtlich; beugt man aber das Knie dadurch, dass man den *gastrocnemius* und *semimembranosus* spannt, so wird das obere und äussere Ende des *ligamentum popliteum* durch den *gastrocnemius externus* herab, das untere innere Ende desselben durch den *semimembranosus* in die Höhe gezogen, so dass die Bündel dieses Bandes alsdann schief von innen und oben nach aussen und unten über die Kniekehle hinweglaufen und die Kapsel gleichfalls gespannt wird. Das *ligamentum popliteum* scheint daher eine Einrichtung zu sein, die Kapsel, wenn das Gelenk durch die Muskeln gebeugt wird, gespannt und in ihrer Lage zu erhalten, und dadurch vor Einklemmung zu schützen. Auf die Einschränkung der Bewegungen des Gelenks selbst scheint es, gleich anderen Theilen der Kapsel, wenig oder keinen Einfluss zu haben. — In einem ähnlichen Verhältnisse, wie zu den beiden genannten Muskeln das *ligamentum popliteum*, steht zum *musculus popliteus* ein Band, welches die Kapsel an das Köpfchen der Fibula befestigt und sich mit dem *musculus popliteus* kreuzt und fest verwachsen ist. Man sieht dasselbe auf Taf. III (Fig. 1) bei *g* durchschnitten. Der untere Theil dieses Bandes *g'* kann ausserdem noch den besonderen Nutzen haben, in der Beugung, wo das äussere Seitenband erschlafft ist, den äusseren Kondylus, während der *musculus popliteus* wirkt, an die Tibia anzudrücken.

§ 79.

Resultate der Untersuchung über das Kniegelenk.

Die wichtigsten Resultate unserer Untersuchung über das Kniegelenk können wir in folgenden Sätzen kurz zusammenfassen:

1. Das Knie kann nicht zu den Charniergelenken gerechnet werden, denn es hat keine feststehende Drehungsaxe.

2. Vielmehr rollen die Kondylen, wie ein Rad, auf der fast horizontalen Oberfläche der Tibia bei der Streckung vorwärts, bei der Beugung rückwärts.

3. Auch können sich die Kondylen des Oberschenkels auf jener fast horizontalen Oberfläche der Tibia um eine senkrechte Axe drehen, d. h. auf eine ähnliche Weise, wie die Vorderräder eines Wagens beim Umlenken: dadurch wird eine Pronation und Supination des Unterschenkels möglich, welche ungefähr 39° beträgt.

4. Es ist eine besondere Einrichtung am Kniegelenke vorhanden, wodurch das Bein während der höheren Grade der Streckung in eine völlig steife Stütze verwandelt wird, die dann keiner Pronation und Supination fähig ist; — sie besteht darin, dass bei der Streckung die beiden Seitenbänder sehr gespannt werden, die bei der Beugung sehr

schlaff sind und dann die Pronation und Supination nicht hindern, eine Einrichtung, die deswegen sehr zweckmässig ist, weil man nur bei gebogenen Knieen einen nützlichen Gebrauch von der Drehung des Unterschenkels um seine Längenaxe machen kann, unser Gang aber sehr unsicher gemacht würde, wenn das Bein auch während es als Stütze dient (während der Streckung) so drehbar wäre.

5. Die besondere Einrichtung am Kniegelenke, wodurch die Gelenkbänder ihre Spannung so sehr ändern, beruht vorzüglich auf der spiralförmigen Krümmung der Condylen, deren Mittelpunkt (woran die Bandenden angewachsen sind) beim Vorwärtsrollen aufwärts, beim Rückwärtsrollen abwärts steigt.

6. Der äussere Kondylus des Schenkelbeins ist beweglicher als der innere und geht bei der Pronation und Supination ein Stück um den letzteren herum. Der innere Kondylus dreht sich hierbei um sich selbst.

7. Es ist eine besondere Einrichtung der Gelenkbänder, welche den inneren Kondylus um sich selbst zu drehen nöthigt, und dem äusseren Kondylus ein Stück um jenen herumzugehen gestattet; das innere Seitenband erschlafft bei der Beugung des Knies lange nicht in dem Grade, als das äussere Seitenband, und das hintere Kreuzband wird sogar bei der Beugung des Knies gespannt, während das vordere erschlafft: es sind also in der gebogenen Lage beide Bänder des inneren Kondylus (das innere Seitenband und hintere Kreuzband) gespannt, und sie halten diesen Kondylus fest, während die Bänder des äusseren Kondylus (das äussere Seitenband und vordere Kreuzband) schlaff sind und ihm gestatten, um jenen herumzugehen, so weit, bis dadurch eines von ihnen gespannt wird.

8. Die Pronation und Supination des Unterschenkels giebt den Erklärungsgrund von der unsymmetrischen Form der Kondylen, von der ungleichen Breite der Seitenbänder, von der verschiedenen Beweglichkeit der halbmondförmigen Knorpel (deren äusserer am äusseren Seitenbande nicht angewachsen, sondern vielmehr durch einen Fortsatz des Synovialsacks vor Reibung an ihm geschützt ist) und von ihrer verschiedenen Gestalt.

9. Die halbmondförmigen Knorpel dienen dem offenen Kniegelenke als Schutzwehr gegen das Eindringen benachbarter Häute und Bänder und heben alle Mängel einer lockeren Verbindung.

10. Der Synovialsack des Kniegelenks bildet eine sehr grosse Anzahl Falten und Fortsätze, welche theils zwischen benachbarte Theile eindringen und ihre Reibung verhindern, theils aber zur Vergrösserung der die Synovia absondernden Oberfläche dienen, und durch Injektion des Gelenksacks mit erstarrender Flüssigkeit sichtbar werden.

Fünfter Abschnitt.

Ueber die Fussgelenke.

§ 80.

Das Sprungbein bildet zwei Gelenke zwischen dem Unterschenkel und dem Fusse, wie der Atlas zwischen dem Kopf und dem Halse.

Die Einlenkung des Fusses am Unterschenkel unterscheidet sich von der Einlenkung des Unterschenkels am Oberschenkel und des letzteren am Rumpfe dadurch, dass sie von zwei zwar sehr nahe beisammen liegenden, aber doch von einander geschiedenen Gelenken gebildet wird. Der oberste Fusswurzelknochen, das Sprungbein oder *talus*, bildet nämlich diese beiden Gelenke, das eine oben mit dem Unterschenkel, das andere unten mit dem Fusse; der Unterschenkel bewegt sich daher in dem einen Falle auf dem Sprungbeine, während dieses am übrigen Fusse festgehalten wird und mit ihm ein einziges Ganze ausmacht; in dem anderen Falle wird das Sprungbein am Unterschenkel festgehalten, macht mit diesem ein Ganzes aus, und bewegt sich gemeinschaftlich mit ihm auf dem übrigen Fusse. Der erste Fall findet Statt, wenn sich der Fuss gegen den Unterschenkel streckt oder beugt: diese Bewegung geschieht in einer senkrechten Ebene nach hinten oder nach vorn, wobei die Drehungsaxe horizontal von rechts nach links liegt. Der zweite Fall findet Statt, wenn der Fuss adducirt oder abducirt wird: diese Bewegung geschieht auch in einer senkrechten Ebene, aber nach rechts oder links, wobei die Drehungsaxe horizontal, aber fast rechtwinkelig gegen die erstere, d. h. von hinten nach vorn (und etwas nach aussen), liegt. Ausser diesen beiden Bewegungen ist im Fussgelenke noch eine dritte möglich, die horizontale Drehung des Fusses oder die Rotation, deren Axe vertikal und der Länge der Tibia parallel liegt. Diese dritte Bewegung kommt keinem der Gelenke ausschliesslich, sondern beiden gemeinschaftlich zu. Den Umfang aller drei Bewegungen des Fussgelenks haben wir am Leichname, nach Entfernung der Muskeln, mit Hülfe einer Boussole und eines mit einem Lothe versehenen Winkelmessers auf ähnliche Weise, wie beim Hüft- und Kniegelenke, gemessen. Nach diesen an zwei Leichnamen gemachten Messungen betrug im Mittel der Umfang

der Beugung	78,2°,
der Adduktion	42,0°,
der Rotation	20,5°,

woraus hervorgeht, dass die erste der drei Bewegungen oder die Beugung

und Streckung, welche zwischen dem Unterschenkel und dem Sprungbeine geschieht, bei weitem die umfänglichste ist.

Vergleicht man die zwei Lagen des Fusses bei grösster Beugung und bei grösster Streckung mit derjenigen, welche der Fuss bei aufrechter Stellung des Beins und paralleler horizontaler Stellung der Füsse hat, so ergiebt sich, dass die letztere Lage mit den beiden ersteren fast gleiche Winkel macht, so dass das Bein von seiner normalen Stellung aus um gleichviel gestreckt und gebeugt werden kann. In Beziehung auf die beiden anderen Bewegungen dagegen ist die bezeichnete normale Stellung der Füsse eine der beiden Grenzlagen selbst, so dass der Fuss von dieser Lage aus (bei aufrechter Stellung des Beins und paralleler Lage der Füsse) zwar adducirt, aber nicht abducirt; zwar nach aussen, aber nicht nach innen gedreht werden kann.

Die erste dieser Bewegungen, die Streckung oder Beugung, welche bei weitem die umfänglichste ist, wird durch das *Gelenk zwischen dem Unterschenkel und Sprungbeine* bewirkt. Taf. XI, Fig. 1 sieht man dieses Gelenk von vorn nach hinten, *senkrecht auf seine Drehungsaxe,* oder parallel der Ebene, in der es sich beugt und streckt, durchsägt. Seine beiden Gelenkflächen (zwischen Talus und Tibia) erscheinen auf diesem Durchschnitte als Kreissegmente, deren gemeinschaftliches Centrum in *c* liegt, und sind daher drehrund. Fig. 2 sieht man dasselbe Gelenk quer von rechts nach links, *durch seine Axe,* oder durch beide Knöchel, also rechtwinkelig gegen den vorigen Durchschnitt, durchsägt. Die beiden Knöchel, von denen der innere *Mi* von der Tibia, der äussere *Me* von der Fibula oder dem Wadenbeine gebildet wird, reichen auf beiden Seiten weit am Sprungbeine herab, umfassen die Rolle desselben wie eine Gabel, und hindern es dadurch, sich mit dem übrigen Fusse zusammen gegen das Unterbein zu adduciren und abduciren. Die zwischen beiden Abtheilungen gelegenen Gelenkflächen erscheinen, in dieser Richtung durchschnitten, nicht drehrund, und folglich ist das obere Fussgelenk ein Charnier, d. i. ein nur um eine einzige Axe drehbares Gelenk. Die Flächen dieses Charniergelenks werden, wie im Ellenbogengelenke, durch *Seitenbänder* zusammengehalten, die aber nicht, wie dort, in allen Lagen gleich straff sind und daher eine Verschiebung der Gelenkflächen gestatten. Diese Beweglichkeit ist, wie wir später zeigen werden, an der inneren Seite grösser, als an der äusseren, so dass sich alsdann der innere Knöchel um den äusseren, wie um eine senkrechte Axe, etwas *drehen* kann. Auch der Bau der *Knochen* ist so eingerichtet, dass er diese von den Bändern gestattete Drehung begünstigt. Die horizontale Drehung des Fusses in diesen Gelenken ist also nicht widernatürlich, und die dazu nothwendige Schlaffheit der Bänder keineswegs zufällig. Die Knöchel sind nämlich nicht symmetrisch gebaut, sondern der beweg-

lichere innere Knöchel reicht nicht soweit am Sprungbeine herab und berührt dasselbe mit einer kleineren Fläche, als der äussere Knöchel. Die Flächen, welche sich der innere Knöchel und das Sprungbein zukehren, sind ferner cylindrisch gebogen, so dass ihre Axe senkrecht und nach aussen liegt und ungefähr durch den äusseren Knöchel geht, um welchen der innere sich dreht. Das Fussgelenk verhält sich daher umgekehrt, wie das Kniegelenk. Im Kniegelenke, sahen wir, stand der innere Kondylus fest, und der äussere drehte sich um ihn; im Fussgelenke steht der äussere Knöchel fest, und der innere dreht sich um ihn.

Die *zweite* Bewegung, oder die Adduktion und Abduktion des Fusses, wird durch *das Gelenk zwischen dem Sprungbeine und dem Fusse* hervorgebracht. Bei diesem Gelenke ist die Einrichtung zur Hemmung der Adduktion und Abduktion wichtig, durch welche die Bewegung nicht allein beschränkt, sondern auch bisweilen ganz aufgehoben werden kann. Ausser den drehrunden Gelenkflächen, mit welchen sich das Sprungbein und der Fuss bei der Adduktion und Abduktion an einander drehen, kehren sie sich noch zwei anderen Flächen zu, bei deren Berührung aber jene Drehung nicht Statt finden kann; es wird vielmehr entweder diese Berührung durch jene Drehung, oder jene Drehung durch diese Berührung aufgehoben. Das Sprungbein dreht sich nämlich bei der Adduktion und Abduktion mit einem Kugelsegmente seines vorderen Fortsatzes in einer pfannenähnlichen Grube, die von dem Schiffbein *N*, vom vorderen Fortsatz des Fersenbeins und von der Sehnenrolle des *musculus tibialis posticus* gebildet wird. Der Mittelpunkt dieser Kugelfläche liegt an der Stelle, wo der Fortsatz vom Sprungbeine ausgeht. Ausserdem berührt aber das Sprungbein den übrigen Fuss mit einer cylindrischen Fläche, deren Axe nicht durch jenen Mittelpunkt geht. Der Körper des Sprungbeins steht nämlich mit einer konkaven Fläche auf einer konvexen Fläche des Fersenbeins Taf. XI, Fig. 1, und wenn diese beiden Flächen sich an einander verschieben sollten, so müsste eine Drehung um eine horizontale, quer durch das Fersenbein gehende Axe entstehen, also eine ganz andere, als die Adduktion und Abduktion ist. Beide Flächenpaare, das vordere und das hintere, mit welchen sich das Sprungbein und der übrige Fuss berühren, können sich also nicht zugleich an einander verschieben, sondern das hintere Flächenpaar muss, wenn das vordere sich verschieben soll (bei der Adduktion), sich trennen; wird aber das hintere Flächenpaar durch die Last des Körpers fest an einander gedrückt, so ist die Verschiebung des vorderen Flächenpaars gehemmt, und weder eine Adduktion noch eine Abduktion des Fusses möglich, oder das Bein steht fest; dies ist der Fall, wenn die Last des Körpers ganz oder grossentheils mit der Ferse auf dem Boden ruht.

Ausser der Adduktion und Abduktion kann sich endlich der Fuss

am Sprungbeine und durch dasselbe am Unterschenkel in horizontaler Ebene drehen. Diese horizontale Drehung des Fusses am Sprungbeine ist zwar sehr klein, eben so, wie die Drehung des Sprungbeins am Unterschenkel sehr klein war; beide summiren sich aber in der Drehung des Fusses am Unterschenkel und machen, dass diese *dritte* Bewegung des Fusses die oben gemessene Grösse erlangen kann.

§ 81.

Bänder der beiden Fussgelenke.

Zwischen den beiden Stellen, wo das Sprungbein und das Fersenbein an einander grenzen, befindet sich ein vom Sprung- und Fersenbein zusammengesetzter Knochenkanal, *sinus tarsi*, welcher, von aussen nach innen sich verengend, quer den Fuss durchbohrt. Man sieht denselben Taf. XI, Fig. 1 im Durchschnitte. In diesem Knochenkanale liegt eine sehr starke Bandmasse, *apparatus ligamentosus*, durch welche beide Knochen fest zusammengehalten werden. Am äusseren weiteren Ende des Kanals sind die Bündel derselben länger, an seinem inneren und engeren Ende ausserordentlich kurz. An diesem Ende werden beide Knochen immer sehr fest zusammengehalten, auch bei der Adduktion und Abduktion, die dadurch gehemmt werden würde, wenn ihre Drehungsaxe nicht mit jenen kürzesten Bündeln des *apparatus ligamentosus* zusammenfiele. Auch in anderer Beziehung ist diese Bandmasse für den Gebrauch des unteren Fussgelenks sehr wichtig. Wie der *apparatus ligamentosus* für das untere, so sind die Seitenbänder besonders für das obere Fussgelenk von grosser Wichtigkeit. Dieses Gelenk, welches zwischen dem Sprungbeine und dem Unterschenkel die Beugung und Streckung vermittelt, wird durch diese Seitenbänder zusammengehalten. Weil sie aber nicht in der Drehungsaxe selbst, sondern das eine näher, das andere weiter davon entfernt befestigt sind, so können sie bei der Beugung und Streckung keine gleiche Spannung beibehalten, sondern beide müssen dabei bald erschlaffen, bald sich spannen, das eine weniger, das andere mehr. Am äusseren Knöchel, welcher bis zur Drehungsaxe herabreicht, befestigt sich das äussere Seitenband näher an diese Axe und hält daher das Sprungbein am Knöchel stets sehr fest. Am inneren Knöchel, welcher sehr kurz ist, befestigt sich das innere Seitenband sehr weit von der Drehungsaxe entfernt, erschlafft daher in der halbgebogenen Lage, und gestattet alsdann dem Knöchel, sich etwas um den unbeweglicheren äusseren Knöchel zu drehen. Das *äussere Seitenband*, dessen Bündel von einander sehr divergiren, ist in drei Abtheilungen gespalten: zwei derselben gehen in horizontaler, aber entgegengesetzter Richtung zum Sprungbeine, das *ligamentum fibulare tali anticum* zu seiner vorderen, das *ligamentum fibulare tali posticum* zu seiner

hinteren Seite. Die dritte Abtheilung, das *ligamentum fibulare calcanei*, geht sehr schief nach hinten herab, am Sprungbeine vorbei, zum Fersenbeine. Das *innere Seitenband, ligamentum deltoideum*, geht zwar auch theils an das Sprungbein, theils an das Fersenbein. Seine Bündel divergiren aber nicht in dem Grade, wie die des äusseren Seitenbandes. Es ist auch nicht in drei Abtheilungen gespalten, sondern in *eine* Bandmasse vereinigt. Auch aus diesem Grunde hat das Sprungbein am inneren Knöchel eine grössere Beweglichkeit als am äusseren.

Wenn das Gelenk sich streckt, spannen sich auf beiden Seiten die vorderen, wenn es sich beugt, die hinteren zum Sprungbeine gehenden Bündel, und verhindern alsdann nicht nur die weitere Streckung oder Beugung, sondern in beiden Lagen auch die Drehung. Das *ligamentum fibulare calcanei* und der zum Fersenbein gehende Theil des *ligamentum deltoideum* sind in der gestreckten Lage des Gelenks erschlafft, spannen sich aber mehr und mehr mit zunehmender Beugung, und pressen alsdann die hinteren Berührungsflächen des Sprung- und Fersenbeins zusammen. Daher kommt es, dass die Adduktion und Abduktion in der gestreckten Lage am umfänglichsten ist, mit der Beugung abnimmt und zuletzt ganz verschwindet.

§ 82.

Synovialhäute der Fussgelenke.

Die knorpeligen Gelenkoberflächen der zwei Fussgelenke sind eben so, wie die des Hüft- und Kniegelenks, mit glatten Synovialhäuten überzogen, die sich von der einen zur anderen der berührenden Oberflächen hinüberschlagen und allenthalben geschlossene Säcke bilden. An den Stellen, wo sie mit den Gelenkflächen verwachsen sind, sind sie fast ganz gefässlos, an ihren freien Stellen besitzen sie ein dichtes Gefässnetz, das den Gelenksaft absondert. Zwischen dem Unterschenkel und dem Sprungbeine befindet sich nur *ein* solcher Sack, zwischen dem Sprungbeine und dem übrigen Fusse aber *zwei*, welche durch den *apparatus ligamentosus* völlig von einander getrennt sind. Der freie, von einer zur anderen Gelenkfläche hinübergehende Theil ist, wo nicht die genannten Bänder ihn bedecken, oder Flechsenscheiden über ihn weglaufen, durch sehr schwache Sehnenfasern verstärkt, die zur Sicherung und Beschränkung der Gelenke nicht mitwirken können.

§ 83.

Zusammensetzung des Fusses und Beweglichkeit seiner Theile.

Die Fusswurzel- und Mittelfussknochen zusammen bilden über dem von ihnen bedeckten Fussboden ein Gewölbe, welches aus zwei vom Fersenbein ausgehenden neben einander liegenden Knochenbögen besteht.

Der kleinere von diesen Knochenbögen, welcher von der Ferse bis zum *tuberculum ossis metatarsi quinti* reicht und sich am äusseren Rande des Fusses befindet, ist nicht nur kürzer, sondern auch niedriger, und wird vom Fersenbeine, vom Würfelbeine und von den zwei letzten Mittelfussknochen gebildet, welche beide mit ihren hinteren und vorderen Enden aufstehen. Dieser Knochenbogen wird, wenn die Last des Körpers auf ihm ruhet, durch zwei im Hohlfusse von hinten nach vorn gespannte Bänder in seiner Lage erhalten, durch das überaus starke *ligamentum calcaneo-cuboideum* und durch das *ligamentum calcaneo-metatarseum.* Dieses letztere Band, welches vom *tuber calcanei* zum *tuberculum ossis metatarsi quinti* gespannt ist und wesentlich beiträgt, die verbundenen Fussknochen gegen den Druck der Körperlast in ihrer Lage zu erhalten, wird von anderen Anatomen als ein Theil der *fascia plantaris* beschrieben, weil es, gleich dieser, den Muskeln des Hohlfusses zum Ansatz dient; muss aber wegen jener wichtigen Funktion als ein eignes Band aufgeführt werden, um so mehr, da es zwei sehr nahe gelegene Knochen mit einander verbindet. Der andere Knochenbogen, der von der Ferse bis zu den Köpfchen der drei ersten Mittelfussknochen reicht, ist viel länger und höher. Man sieht ihn Taf. XI, Fig. 1. Dieser Bogen wird hinten vom Fersenbeine, vorne vom Schiffbeine, den drei Keilbeinen und den drei ersten Mittelfussknochen gebildet und oben durch das Sprungbein geschlossen, welches, zwischen dem Schiffbeine und Fersenbeine eingelenkt, beide Knochen sich einander zu nähern verhindert und dadurch dem Knochenbogen Spannung verleiht, so dass, auch wenn der Körper auf ihm ruht, das hintere Ende der Mittelfussknochen mit dem Fussboden nicht in Berührung kommt. Auch dieser Bogen wird durch die Bänder des Hohlfusses in seiner Lage erhalten. Diese den Fuss, ohne die Zehen, zusammensetzenden Knochen berühren sich mit Ausnahme des Sprungbeins sämmtlich nur mit fast ebenen Flächen, die selbst wieder durch sehr straffe und feste, theils unten, theils oben, theils zwischen ihnen gelegene Bänder zusammengehalten werden. Die geringe Verschiebbarkeit, die wir daher zwischen denselben wahrnehmen, kann zwar dazu dienen, die Bewegungen der Fussgelenke noch um ein weniges zu vermehren, wird aber dann immer nur einen sehr kleinen Theil der ganzen Bewegung ausmachen. Der eigentliche Zweck dieser Einrichtung scheint vielmehr ein doppelter zu sein. *Erstens* erhält der Fuss dadurch die Fähigkeit, sich dem Boden anzuschmiegen, so dass er ihn stets mit einer hinreichenden Anzahl von Punkten berührt, um dem Körper als eine sichere Unterlage zu dienen. *Zweitens* dient dieser festere Theil des Fusses, wenn wir uns auf den Ballen erheben, zur Verlängerung des stützenden Beins, und vermag durch die elastische Verbindung seiner einzelnen Theile die Stösse auf-

zuheben und für sich und den übrigen Körper unschädlich zu machen, denen er unmittelbar und um so mehr ausgesetzt ist, da er sie meist in transversaler Richtung erhält. Bestände der Fuss, wie der Ober- und Unterschenkel, nur aus einem oder mehreren Knochen von gleicher Länge, als der Fuss selbst, so würde er dem Brechen sehr ausgesetzt sein. Die Mittelfussknochen, an welchen die vierte und fünfte Zehe eingelenkt ist, sind übrigens *viel beweglicher* als die übrigen.

§ 84.

Einrichtung der Zehengelenke mit besonderer Rücksicht auf die Sesambeinchen.

Die Zehen sind an den Mittelfussknochen und in ihren Theilen selbst so beweglich und durch so schwache Bänder zusammengehalten, dass sie selbst mit Hülfe der Muskeln nicht im Stande sind, die Last des Körpers zu tragen. Sie können daher nicht zur Verlängerung der den Körper stützenden Beine dienen, wenigstens nicht, so lange sie seine ganze Last oder den grösseren Theil zu tragen hätten. Es ist daher unrichtig, zu sagen, dass man auf den Zehen stehe oder gehe, da man doch blos auf dem Ballen, oder den vorderen Enden der Mittelfussknochen, steht oder geht. Dessenungeachtet sind die Zehen für das Stehen, besonders aber für das Gehen und Laufen von der grössten Wichtigkeit, weil wir uns ohne dieselben auf dem Ballen des Fusses in keinem ruhigen Gleichgewichte zu erhalten im Stande wären, sondern auf ihnen, wie auf Stelzen, stehen würden, wo man das Gleichgewicht meist nur durch ein stetes Trippeln, und beim Gehen nur durch Kreuz- und Querschritte erhalten kann. Wir haben § 46 darauf aufmerksam gemacht, wie nothwendig es sei, um den Schwerpunkt des Körpers horizontal verrücken und also balanciren zu können, dass ein Theil des stützenden Beins selbst nicht blos den Boden berühre, sondern auch auf ihm festgehalten werde, damit die Muskeln von da aus den übrigen Körper nach verschiedenen Richtungen drehen und beugen können, ohne dass er selbst an dieser Bewegung Theil nimmt. Diesen Dienst leistet der *Fuss*, wenn er, wie bei aufrechter Stellung, seiner ganzen Länge nach aufsteht. Wenn man sich aber auf den Ballen erhebt, so wird dieser Dienst von den *Zehen* geleistet. Zu diesem Zwecke sind die Zehen selbst an einander sehr beweglich und aus sehr zahlreichen und beweglichen Theilen zusammengesetzt, um sich dem Boden innig anzuschmiegen und dadurch die Reibung an ihm zu vermehren. Sie sind auch am übrigen Fusse sehr beweglich, so dass sich das ganze übrige Bein um sie, wenn sie aufstehen, in grossen Bögen bewegen kann, ohne dass sie selbst ihre Lage zu ändern brauchen. Der *Hauptstützpunkt des Fusses*, wenn er sich auf dem Ballen erhoben hat, liegt an der inneren Seite

desselben, was schon die grössere Stärke seiner Knochen und seiner Muskeln auf dieser Seite beweist. Wir finden an dieser inneren Seite des Fusses auch einen besonderen Apparat, der zu diesem Zwecke dient. Der erste Mittelfussknochen ruhet nämlich nicht unmittelbar auf dem Boden, sondern hat eine theils knorpelige, theils knöcherne Unterlage, welche von zwei kleinen Knöchelchen, den *Sesambeinchen,* gebildet wird. Taf. IV, Fig. 2 sieht man diesen Apparat abgebildet. Der Mittelfussknochen der grossen Zehe ist weggenommen, so dass man beide Sesambeinchen *s, s,* am Boden liegen sieht. Sie sind durch eine starke Bandmasse mit der davor liegenden Zehe verbunden und bilden mit ihr zusammen eine Pfanne, in welcher der Kopf des Mittelfussknochens, wie in einem Schuhe, steht, und in ihr sich drehen kann, während sie selbst daran keinen Antheil nimmt. Wenn der Mittelfussknochen daher in seiner Pfanne gedreht und nach vorn gebogen wird, z. B. wenn der Mensch sich auf den Ballen erhebt, so bleiben die Sesambeinchen unverrückt am Boden liegen und werden durch die Last des Körpers an den Boden noch mehr angedrückt und durch Reibung festgehalten. Sie bilden daher eine unbewegliche Unterlage, gegen welche der Fuss, und durch ihn der ganze Körper, nach verschiedenen Seiten gedreht werden kann. Auf der unteren Seite des Gelenks geht z. B. die Flechse des *musculus flexor hallucis t* zwischen beiden Sesambeinchen hindurch, wie über eine Rolle, zur grossen Zehe. Wird dieser Muskel angespannt, so wird *die Zehe gegen den Boden gedrückt:* der Körper wird alsdann von drei Punkten unterstützt und getragen, von den *beiden Sesambeinchen* und von der *grossen Zehe.* Wird der Muskel noch mehr gespannt, so bewegt er das Bein und mit ihm den Körper rückwärts, während jene drei Punkte unverrückt stehen bleiben. Auf ähnliche Weise aber, wie der *musculus flexor hallucis,* bewegen auch die anderen zu den Zehen oder den Sesambeinchen gehenden Muskeln das Bein und den Körper nach anderen Richtungen, ohne dass einer von jenen drei Punkten verrückt wird.

Sechster Abschnitt.

Ueber die Muskeln der Gehwerkzeuge.

§ 85.

Vergleichung des Gewichts der Muskeln, welche das Bein strecken und beugen.

Das Gewicht der Muskeln ist zwar allein kein genauer Maassstab ihrer Kraft; denn die kraftvolle lebendige Zusammenziehung hängt noch von chemischen und organischen Verhältnissen ab, woraus z. B. erklärt werden muss, warum durch Uebung ihre Kraft mehr als ihre Masse

wachsen kann. Wenn aber auch das Gewicht der Muskeln kein genauer Maassstab der Kraft ist, so ist es doch von allem, was wir an den Muskeln sehen und messen können, zu einer genäherten Uebersicht und Vergleichung ihrer Stärke bei weitem am meisten geeignet. Es war daher interessant, eine Wägung aller Muskeln des Beins vorzunehmen. Wir haben dazu zwei Leichname wohlgebildeter und kräftiger Männer gewählt. Es hat sich daraus ergeben, dass die Gewichtsverhältnisse vieler Muskeln sehr verschieden waren; theilt man jedoch die Muskeln in Klassen und vergleicht sie klassenweise ihrem Gewichte nach, so gleichen sich diese Verschiedenheiten grossentheils aus, und es lassen sich daraus interessante Folgerungen ziehen. In der folgenden Tabelle haben wir die *mittleren* Gewichte der Muskeln, wie wir sie bei jenen zwei Leichnamen gefunden haben, zusammengestellt (und haben den Unterschied des Gewichts der einzelnen Muskeln von diesem mittleren Gewichte in Parenthese beigefügt), und haben sie zu Klassen vereinigt, und die Gewichte dieser Klassen verglichen. Bei der Klassenordnung haben wir vorzüglich *den Unterschied* der Streck- und Beugmuskeln und *die Verbindung* zwischen beiden durch die Muskeln, welche beiderlei Dienste leisten, im Auge gehabt. Das Gewicht aller übrigen Muskeln, die nicht zum Strecken und Beugen dienen, ist klein gegen das Gewicht derer, welche diese Bewegungen hervorbringen und beim Gehen und Laufen gebraucht werden; besonders gross ist das Gesammtgewicht der Streckmuskeln. Die kleinen *musculi lumbricales* und *interossei* der Zehen, welche kein specielles Interesse hatten, und deren Gewicht gegen die übrigen Beinmuskeln nicht in Betracht kommt, haben wir nicht mit gewogen.

Tabelle VI.

Wägung der zum Gehen dienenden Muskeln.

obturator externus	56,7 (± 9,7)		198,4	Roller des Oberschenkels.
obturator internus et gemelli	68,7 (± 13,2)			
piriformis	43,5 (± 5,5)			
quadratus femoris	29,5 (∓ 0,5)			
sartorius	125,7 (∓ 18,2)			
gracilis	82,2 (∓ 15,2)			
adductores[1]	655,5 (± 62,5)			
vasti et cruralis	1092,0 (∓ 55,0)	1092,0	1291,2	Strecker des Kniegelenks.
rectus femoris	199,2 (∓ 26,2)	199,2	692,6	Beuger des Hüftgelenks.
psoas	181,7 (± 26,2)	493,4		
iliacus	195,5 (± 44,5)			
pectineus	49,0 (∓ 4,5)			
tensor fasciae	67,2 (± 9,7)			

[1]) Die Adduktoren, welche nach Albin den Oberschenkel auch beugen können, werden dazu beim Gehen nicht gebraucht, weil sie durch gleichzeitige Adduktion das Gehen verhindern würden.

gluteus maximus	556,0 (∓ 2,5)		
gluteus medius	277,7 (± 36,2)	936,2	
gluteus minimus	102,5 (± 15,5)		1400,1 Strecker des Hüftgelenks.
semimembranosus	206,5 (± 7,5)		
semitendinosus	128,2 (± 3,2)	463,9	
bicipitis caput longum	129,2 (± 21,7)		
bicipitis caput breve	146,2 (± 65,2)	170,2	992,1 Beuger des Kniegelenks.
popliteus	24,0 (± 1,5)		
gastrocnemii et plantaris	358,0 (± 2,0)	358,0	733,0 Strecker des Fussgelenks.
soleus	375,0 (± 24,0)	375,0	
tibialis anticus	124,5 (∓ 2,5)	146,7 Beuger des Fussgelenks.	
peroneus tertius	22,2 (± 12,7)		
peroneus longus	85,2 (± 9,7)		
peroneus brevis	52,0 (∓ 19,0)	234,9 Ab- und Adductoren des Fusses.	
tibialis posticus	97,7 (∓ 13,7)		
extensor longus hallucis	28,7 (± 1,7)		
extensor brevis hallucis	7,0		
abductor hallucis	22,0 (± 0,5)	145,7 Muskeln der grossen Zehe.	
adductor hallucis et transvers.	21,0 (∓ 5,5)		
flexor longus hallucis	53,5 (± 23,5)		
flexor brevis hallucis	13,5		
extensor digitorum longus	32,5 (± 17,5)		
extensor digitorum brevis	8,5		
flexor digitorum longus	31,0 (∓ 13,0)		
caro quadrata	13,0 (∓ 4,5)	120,0 Muskeln der vier kleinen Zehen.	
flexor digitorum brevis	13,0		
flexor digiti minimi	6,5 (∓ 1,0)		
abductor digiti minimi	15,5 (± 2,5)		

Man erkennt aus dieser Tabelle, dass die Strecker und Beuger zwischen den Abtheilungen des Beins die mannigfaltigsten Verbindungen herstellen. Zwar haben das Hüft-, das Knie- und das Fussgelenk jedes seine besonderen Strecker und Beuger; eine grosse Zahl anderer Muskeln aber sind Strecker und Beuger zugleich, indem sie über zwei Gelenke weggehen, das eine strecken und das andere beugen. Der *rectus femoris*, welcher vorn von der Kniescheibe zum Becken geht, und das *Kniegelenk streckt,* dient zugleich dem *Hüftgelenke* als *Beuger*; der *semitendinosus*, *semimembranosus* und der lange Kopf des *biceps*, welche hinten vom Becken zum Unterschenkel gehen, und das *Hüftgelenk strecken,* dienen zugleich dem *Kniegelenke* als *Beuger*; die *gastrocnemii*, welche vom Oberschenkel zur Ferse des Fusses gehen, beugen das Kniegelenk, und sind zugleich Strecker des Fussgelenks. Die Muskeln des Beins, deren Bewegungen organisch in einander greifen, bilden ein geregeltes System, und ihre systematische Anordnung hängt mit der Aufeinanderfolge der Bewegung beim Gehen und Laufen genau zusammen.

Das Gewicht der über zwei Gelenke weggehenden Muskeln des Beins, welche Strecker und Beuger zugleich sind, beträgt nach unserer

Tabelle 1021,1 Gramm. Nimmt man nun an, dass diese Muskeln in gleichem Maasse zum Strecken und Beugen dienen, und bringt sie sowohl bei den Streckmuskeln als auch bei den Beugemuskeln, jedoch beide Male nur mit halbem Gewichte in Rechnung, so ergiebt sich folgendes Verhältniss zwischen Streck- und Beugemuskeln:

$$\left(2403{,}2+\frac{1021{,}1}{2}\right):\left(810{,}3+\frac{1021{,}1}{2}\right)=2913{,}75:1320{,}85,$$

d. i. nahe wie 11 : 5. Es ist also das Gewicht der Streckmuskeln des Beins mehr als doppelt so gross, als das seiner Beugemuskeln. Da nun auch der Mechanismus des Beins keineswegs ein solcher ist, dass die Beugemuskeln unter einem günstigeren Winkel oder auf längere Hebelarme wirkten, als die Streckmuskeln, so ist es offenbar unrichtig, wenn man, weil die Beine sich in der Ruhe in halbgebogener Lage befinden, behauptet hat, dass die Beuger das Uebergewicht über die Strecker hätten. Diese halbgebogene Lage der Knochen in der Ruhe hängt nicht von der Spannkraft, sondern von der natürlichen Länge der Streck- und Beugemuskeln ab, welche sie in der Ruhe haben, und die sich so verhält, dass die Gelenke eine halbgebogene, von der Lage der grössten Streckung und Beugung ungefähr gleich entfernte Lage dabei haben müssen.

Das Gewichtsverhältniss der Streckmuskeln zu den Beugemuskeln fällt noch grösser aus, wenn man die Muskeln, welche das Bein ausschliesslich strecken, mit denen, welche es ausschliesslich beugen, vergleicht. Sie verhalten sich wie

$$2403{,}2 \text{ Gramm} : 810{,}3 \text{ Gramm oder fast wie } 3:1,$$

welches Verhältniss sogar noch richtiger zu sein scheint, weil es wahrscheinlich ist, dass auch jene über zwei Gelenke weggehenden Muskeln, welche, wie die übrigen Strecker, sehr stark sind, vorzüglich als Strecker dienen und nur nebenbei auch Dienste als Beuger leisten. Hiernach würde das Gewicht der Streckmuskeln = 3166,7 Gramm zu rechnen sein. Vergleicht man dieses Gewicht mit dem Gesammtgewicht aller Muskeln des Beins, das wir zu 5728,9 Gramm gefunden haben, so ergiebt sich nahe das Verhältniss von 5 : 9, so dass mehr als die Hälfte der ganzen Muskelmasse des Beins allein auf den Streckapparat desselben kommt. Vergleicht man endlich das Gewicht der Streck- und Beugemuskeln zusammen mit dem Gesammtgewicht aller Muskeln des Beins, so ergiebt sich nahe das Verhältniss von 3 : 4, wonach also alle übrigen Muskeln ohne die Streck- und Beugemuskeln etwa nur $\frac{1}{4}$ der gesammten Muskelmasse des Beins ausmachen.

§ 86.

Der Fuss wird beim Gehen nicht durch die Beuger des Fussgelenks, sondern durch die gastrocnemii vom Boden aufgehoben, welche das Kniegelenk beugen und zugleich das Fussgelenk strecken.

Durch die Muskeln, welche über zwei Gelenke weggehen, und das eine Gelenk strecken, das andere beugen können, hat die Natur mehrere Zwecke auf einmal erreicht, nämlich eine Ersparniss mehrerer Muskeln, und eine Folgerichtigkeit der nothwendig zusammen gehörigen Bewegungen, die nur dadurch möglich war. Wie bei Dampfmaschinen die nothwendige Folge aller Bewegungen durch Vereinigung *mehrerer einfach* durchbohrter Hähne zu *einem mehrfach* durchbohrten Hahne mit Vorteil hergestellt wird, so sind an den Beinen *mehrere* über *ein* Gelenk gehende Muskeln durch *einen* über *mehrere* Gelenke gehenden ersetzt worden. Beim Gehen müssen gewisse Bewegungen immer gleichzeitig geschehen. In manchen Fällen z. B. muss sich das Hüftgelenk beugen, während sich das Kniegelenk streckt, muss sich ferner das Hüftgelenk oder Fussgelenk strecken, während sich das Kniegelenk beugt. Es ist interessant zu sehen, wie so verschiedene, aber gleichzeitige Bewegungen durch einfache Muskeln, welche zu diesem Zwecke über zwei Gelenke hinweggehen, hervorgebracht werden. In anderen Fällen ist es die richtige *Folge* der Bewegungen, welche die Natur durch die Einrichtung dieser Muskeln erreicht hat, z. B. die Lösung des Fusses vom Boden im Augenblicke, wo das Bein aufhört, den Körper zu tragen und gegen den Boden zu stemmen. Die Lösung des Fusses vom Boden beim Gehen wird nicht durch dessen Beugemuskeln, sondern durch dessen Streckmuskeln bewirkt, und zwar nicht durch den *soleus*, welcher von der Ferse zum Unterschenkel geht, sondern durch die *gastrocnemii* oder Zwillingsmuskeln, welche von der Ferse zum Oberschenkel gehen, und daher nicht blos das Fussgelenk strecken, sondern auch das Kniegelenk beugen können. Da die *gastrocnemii* zugleich Streck- und Beugemuskeln sind, so dürfen sie, um das Bein zunächst blos zu strecken und zu verlängern, und nicht zugleich zu beugen und zu verkürzen, z. B. wenn dasselbe beim Gehen den Körper trägt und durch seine Verlängerung vorwärts bewegt, nicht gleich vom Beginn der Streckung mitwirken, sondern erst dann sich zu spannen anfangen, wenn das Knie schon ganz oder fast ganz gestreckt ist, wo dann das Drehungsmoment ihrer auf das Knie wirkenden Beugekraft deswegen sehr gering ist, weil Unter- und Oberschenkel dann in gerader Linie liegen, und diese Muskeln sehr nahe an der Drehungsaxe vorbeigehen. Man muss aber auf der anderen Seite erwarten, dass die Zwillingsmuskeln, da sie später zu wirken beginnen, auch länger zu wirken fort-

fahren werden. Dieses ist wirklich der Fall. Die Zwillingsmuskeln fahren noch fort zu wirken, wenn das Bein zu stemmen aufgehört hat und die übrigen Streckmuskeln erschlaffen. Ist nämlich jener Zeitpunkt gekommen, so lassen die Strecker des Kniegelenks nach, und die Zwillingsmuskeln, welche zugleich angespannt sind, erhalten jetzt nicht nur das Fussgelenk gestreckt, sondern können nun auch das Kniegelenk beugen, wodurch der auf den Zehen stehende Fuss aufgehoben und etwas *nach hinten* gezogen wird. Diese Einrichtung ist für das Gehen und Laufen von grosser Wichtigkeit, wo das Bein wechselweise gegen den Boden stemmt, und nach vorn schwingt, beide Bewegungen aber in vorgeschriebenen Zeiten auf einander folgen müssen, wenn nicht die Fortbewegung dadurch gestört werden soll; denn *erstens* wird das Bein, welches den Fussboden nur noch mit der äussersten Fussspitze berührt, dadurch *momentan* vom Boden gelöst, was durch Beugung des Fussgelenks in jener Lage des Beins nicht möglich ist; *ferner* bedarf es dazu nicht einer neuen Kraft (die Zwillingsmuskeln, durch welche der Fuss vom Boden gelöst werden soll, sind schon gespannt), sondern nur des Aufhörens einer vorhandenen Kraft, der Erschlaffung der Streckmuskeln des Knies, welche einmal erfolgen muss. Diese Art der Lösung des Fusses vom Boden, von der man sich durch Beobachtung eines gehenden Menschen bestimmt überzeugt, erklärt zugleich die Erscheinung, warum beim schnelleren Gehen, besonders aber beim Laufen, wobei alle Streckmuskeln des Beins, also auch die *gastrocnemii* sehr stark angespannt werden, die Beine hinten so hoch in die Höhe geworfen werden, und zwar um so höher, je schneller die Bewegung geschieht.

§ 87.

Ueber die Muskeln, welche die Pronation und Supination des Fusses bewirken.

Wir haben § 67 durch Versuche am Leichname bewiessen, dass der Unterschenkel um 39° pronirt und supinirt, d. h. so um seine Längenaxe gedreht werden kann, dass sich die Zehen nach aussen und wieder nach innen kehren. Diese Pronation und Supination des Unterschenkels ist aber durch die Einrichtung der Knochen und Bänder nicht nur möglich, sondern es sind auch Muskeln vorhanden, welche die Bewegung während des Lebens auszuführen geeignet sind. Die Pronation des Unterschenkels können der *sartorius*, der *semitendinosus*, der *gracilis* und der *popliteus*, die Supination der *biceps* bewirken. Es ist in dieser Hinsicht bemerkenswerth, dass, so wie der Unterschenkel durch die Spannung seiner Bänder verhindert ist, in gestreckter Lage um seine Längsaxe gedreht zu werden, und erst in gebogener Lage des Knies

drehbar wird, so auch die Muskeln, welche in der gestreckten Lage ganz andere Verrichtungen haben, erst während der Beugung eine solche Lage erhalten, wo sie die Drehung zu bewirken geschickt sind. Aus der Funktion dieser Muskeln, bei gebogenen Knien die Pronation zu bewirken, sieht man ein, zu welchem Zwecke die Sehnen des *sartorius, gracilis* und *semitendinosus* sich um ein so grosses Stück der Tibia herumkrümmen, nämlich um sich bei der Drehung abwickeln, und sie dadurch in einem grösseren Umfange ausführen zu können. Der *semimembranosus,* der sonst in seiner Lage so sehr mit dem *semitendinosus* übereinstimmt, kann die Pronation nicht bewirken, weil seine Sehne sich nicht, wie die des letzteren, um die Tibia herumkrümmt. Auf ähnliche Weise krümmt sich auch der *popliteus* auf der äusseren Seite um den Condylus des Oberschenkels herum. Nur die Sehne des *biceps,* welcher die Supination bewirkt, ist nicht so gekrümmt, weil sie an das Köpfchen der Fibula befestigt ist, und dadurch schon weiter entfernt von der Drehungsaxe oder dem inneren Condylus liegt, und weil überhaupt die Drehung nach innen geringer ist. Von der Fähigkeit dieser Muskeln, in der Beugung die Pronation und Supination des Unterschenkels zu bewirken, haben wir uns, namentlich bei den langen Muskeln, sehr bestimmt überzeugt, indem wir ihr oberes Ende trennten, und sie, ohne die Richtung ihrer Fasern zu ändern, während das Knie gebogen war, spannten, was jene Drehung zur Folge hatte.

§ 88.

Ueber die Muskeln, welche die Adduktion und Abduktion im unteren Fussgelenke bewirken.

Der Fuss und der Unterschenkel sind, wie wir § 80 gezeigt haben, so zusammengelenkt, dass die beiden Hauptbewegungen beider Glieder gegen einander, nicht wie zwischen dem Becken und Oberschenkel, und zwischen Ober- und Unterschenkel, in einem Gelenke geschehen, sondern auf zwei dicht übereinander liegende Gelenke vertheilt sind, so dass die Beugung und Streckung nur in dem oberen, zwischen dem Unterschenkel und dem Sprungbeine, die Adduktion und Abduktion nur zwischen dem Sprungbeine und dem übrigen Fusse ausgeführt werden kann. Ungeachtet das Sprungbein mit zwei ganz von einander getrennten Flächen auf dem übrigen Fusse aufsteht, durfte die Verbindung beider doch nicht als zwei Gelenke betrachtet werden, weil bei der Adduktion und Abduktion des Fusses, die dadurch hervorgebracht wird (und 42° betragen kann), die Berührung nur in der einen Fläche erhalten, in der anderen Fläche aber bis auf wenige Punkte aufgehoben wird. Für die Adduktion und Abduktion des Fusses hat die Natur

nicht nur ein besonderes Gelenk, sondern auch besondere Muskeln gebildet, die fast nur diese Bewegung hervorbringen. Der *tibialis posticus* adducirt den Fuss, der *peroneus longus* und *brevis* abduciren ihn, beide sind daher Antagonisten. Wir haben die Richtigkeit dieses Satzes dadurch geprüft, dass wir diese Muskeln, ohne die Lage ihrer Flechsen an ihrem unteren Ende (bis über die Fussgelenke) zu ändern, an ihrem oberen Ende trennten, und in der Richtung ihrer Fasern spannten, und beliebig den Fuss adducirten und abducirten, je nachdem wir den *tibialis posticus* oder *peroneus longus* und *brevis* spannten. Nur mit grossem Kraftaufwande konnte man durch den *peroneus longus* allein, oder durch den *tibialis posticus* mit dem *peroneus brevis* zusammen, die Streckung des Gelenks hervorbringen, wobei merkwürdig war, dass man es durch jeden der beiden letzteren Muskeln allein gar nicht vermochte.

Dritter Theil.

Physiologische Untersuchung des Gehens und Laufens.

Dritter Theil

[illegible]

Erster Abschnitt.

Versuche und Messungen über das Gehen und Laufen.

§ 89.

Zur Grundlage einer Theorie des Gehens und Laufens werden Messungen erfordert.

Unter allen Bewegungen des menschlichen Körpers sind das Gehen und Laufen diejenigen, welche am offensten vor unseren Augen geschehen, und die man nicht allein beobachten, sondern auch, genauer als die meisten anderen Bewegungen, *messen* kann. Durch die *Messung* dieser Bewegungen wird es allein möglich, klare und deutliche Begriffe vom Gehen und Laufen zu begründen; denn sie bildet die auf Erfahrung beruhende Grundlage und den Prüfstein jeder Lehre vom Gehen. Eine solche Grundlage zu schaffen, haben wir keine Mühe gescheut, und sind durch mannigfaltige Abänderungen der Messungen zur Erkennung mancher Gesetzmässigkeiten beim Gehen und Laufen und darauf auch zu deren Erklärung gelangt. Z. B. suchten wir durch unsere Messungen die *Länge* und *Dauer* der Schritte auszumitteln, und wurden durch die Gesetzmässigkeit, die wir darin fanden, zu einer genaueren Bestimmung darüber geführt, in wie weit beide von den äusseren Naturkräften, denen der menschliche Körper gleich anderen Körpern unterworfen ist (der Schwere, dem Widerstande der Luft und der Reibung des Fussbodens), und in wie weit sie von der organischen Kraft, namentlich von den verwendeten Muskelkräften abhängen.

§ 90.

Die Messungen müssen auf einem horizontalen, vor Wind geschützten Wege angestellt, und der Weg und die Zeit gemessen werden.

Da es mit grosser Schwierigkeit verbunden und in den meisten Fällen ganz unmöglich ist, die *einzelnen* Schritte ihrer *Länge* und *Dauer* nach zu messen, so muss man sich der indirecten Methode bedienen, dass man einen gemessenen Raum durchgeht, die dabei gemachten Schritte zählt und die darauf verwendete Zeit mit einer Uhr bestimmt,

woraus dann die Länge und Dauer der Schritte durch eine einfache Rechnung gefunden wird; denn die Länge des Weges ist die Summe aller gemachten Schritte und braucht durch die Zahl der gemachten Schritte nur getheilt zu werden, um die *Länge* eines Schrittes zu erfahren. Auf gleiche Weise braucht man, um die *Dauer* eines Schrittes zu erfahren, nur die zur Vollendung aller Schritte erforderlich gewesene Zeit durch die Zahl der Schritte zu theilen. Dieses Verfahren ist unter der Voraussetzung anwendbar, dass bei ungestört fortgesetztem Gehen alle Schritte sowohl ihrer Länge als auch ihrer Dauer nach gleich seien. Diese Voraussetzung wird schon durch die Erfahrung des gemeinen Lebens gerechtfertigt und bestätigte sich auch bei unseren Versuchen.

Bei der Anstellung unserer Versuche benutzten wir in der Regel einen Bodenraum, welcher einen horizontalen Fussboden von grosser Ausdehnung darbot. Wir maassen auf demselben eine $43\frac{43}{100}$ Meter lange Bahn ab. Dieser Raum war vor dem Winde geschützt und deswegen zu den Versuchen geeignet; denn unter freiem Himmel stört der Wind auch bei geringer Stärke die Versuche und ändert die Resultate merklich ab, während man dort, unabhängig vom Wetter und allen störenden Einflüssen, zu jeder Zeit unter stets gleichen Verhältnissen die Versuche machen kann. An beiden Enden der Bahn waren grosse Räume gelassen, theils um die ersten Schritte aus der Messung weglassen zu können, theils um den störenden Einfluss zu vermeiden, den eine entgegenstehende Wand auf die letzten Schritte eines auf sie zuschreitenden Menschen unwillkürlich äussert. Bei einigen Versuchen jedoch konnten wir uns dieses bedeckten Raumes nicht bedienen, weil der Gehende aus beträchtlicher Entfernung mit einem Fernrohre beobachtet werden musste, und wir mussten alsdann die Versuche im Freien anstellen. — Zu den Zeitmessungen bedienten wir uns einer, oder, wenn es nöthig war, zweier Tertienuhren, die beide eine für die beabsichtigten Versuche ausreichende Genauigkeit und Uebereinstimmung gewährten. Bei den Messungen nahm der Gehende, die Uhr in der einen Hand haltend, seinen Platz sechs bis zwölf Schritte von dem Anfangspunkte der Bahn, liess während des Fortschreitens die durch einen Sperrhaken still gehaltene Uhr in dem Augenblicke gehen, wo er den Anfangspunkt der Bahn betrat, und hielt sie eben so pünktlich in dem Augenblicke wieder an, wo er den Endpunkt der Bahn mit dem Fusse erreichte, oder, wenn das Ende der Bahn nicht mit dem Ende eines Schrittes zusammen fiel, in dem Augenblicke, wo der Schwerpunkt sich über dem Endpunkte der Bahn befand. Zugleich wurden von ihm während des Gehens die Schritte gezählt, die er in dieser Zeit machte. Diese verschiedenen, bei einer solchen Messung nothwendigen Thätigkeiten hätten zwar unter mehrere Personen vertheilt werden können, wurden aber deswegen vom Gehenden selber ausgeführt, weil er allein im Stande ist, sie ganz gleichzeitig vorzunehmen. Nimmt ein Anderer die Uhr, so verstreicht, wie uns die Erfahrung gelehrt hat, zwischen dem Zeichen, das der Erstere giebt, und der Auslösung der Uhr, die der Andere bewirkt, ein kleiner Zeitraum, der nicht immer gleich gross ist, wodurch die Beobachtungen unsicher werden. Durch eine solche Vereinigung mehrfacher Thätigkeiten in einer Person werden übrigens bei einiger Uebung die Versuche nicht beeinträchtigt. — Erst nach Vollendung der Versuche wurden aus den aufgezeichneten Schrittzahlen und Uhrständen die Schrittlängen und Schrittdauern berechnet, die bis dahin unbekannt blieben, so dass ihre grössere oder geringere Uebereinstimmung mit den erwarteten Resultaten auf die Versuche keinen Einfluss haben konnten. Zur Vergleichung der Versuche war es endlich nöthig, dass, mit Ausnahme

der Fälle, wo der Gang *verschiedener* Menschen verglichen werden sollte, sämmtliche Versuche von *einem und demselben* angestellt wurden. Dieses ist auch geschehen überall, wo wir das Gegentheil nicht ausdrücklich bemerken werden.

§ 91.

Der Rumpf ist während des Gehens und Laufens nicht in senkrechter Lage, sondern vorwärts geneigt. Die Grösse dieser Neigung wächst mit der Geschwindigkeit, mit der man geht oder läuft.

Wir haben § 5 den Körper in Beziehung auf das Gehen und Laufen in zwei Theile zerfällt, in den Rumpf nebst Kopf und Armen, welche zusammen genommen die fortzubewegende Last ausmachen, und in die beiden Beine oder Stützen, welche diese Last tragen und fortbewegen. Die zu tragenden Theile ändern, so lange das Gehen oder Laufen auf dieselbe Weise fortgesetzt wird, ihre einmal angenommene Lage wenig oder gar nicht ab, hingegen müssen die Beine zum Zweck der Fortbewegung unaufhörlich ihre Lage wechseln.

Es ist bekannt, dass, wenn einem Theile irgend eines festen Körpers durch einen benachbarten Körper eine Bewegung mitgetheilt wird, alle Theile des festen Körpers nur dann an jener Bewegung gleichförmigen Antheil nehmen, wenn die Richtung der Kraft von dem berührten Punkte aus durch den Schwerpunkt des festen Körpers hindurchgeht. Wenn dies aber nicht der Fall ist, so lässt sich jene Kraft nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte in zwei Seitenkräfte zerfällen, von denen die eine jene Richtung hat, die andere aber darauf senkrecht ist. Die letztere bringt alsdann eine Drehung des festen Körpers um seinen Schwerpunkt hervor. Auf ähnliche Weise, wie ein solcher fester Körper, verhält sich der Rumpf beim Gehen und Laufen zu den Beinen, deren obere Enden, die beiden Schenkelköpfe, mit fast gleichförmiger Geschwindigkeit beinahe in horizontaler Richtung sich fortbewegen. Diese Bewegung der Schenkelköpfe muss dem unteren Ende des Rumpfes mitgetheilt werden. Zerlegt man nun diese Bewegung in eine solche, die von den Schenkelköpfen nach dem Schwerpunkt des Rumpfs gerichtet ist, und in eine Bewegung senkrecht darauf, so würde die letztere eine Drehung des Rumpfes hervorbringen, wenn auf den Rumpf keine andere Kraft wirkte, als die ihm durch die Bewegung der Schenkelköpfe mitgetheilt wird. Eine solche Drehung des Rumpfes soll aber beim Gehen und Laufen nicht Statt finden, und sie wird verhindert, wenn der Rumpf *anfangs* etwas vorwärts geneigt wird, wo denn seine eigene Schwere eine Drehung nach entgegengesetzter Richtung hervorbringt. — Wenn nun den Rumpf keine andere Kraft bewegte, als die, welche von den Schenkelköpfen herrührt, und seine eigene Schwere, so müsste die Neigung des Rumpfes nach und nach vermindert werden,

und, sobald durch die *beschleunigende Kraft der Schwere* eine eben so geschwinde Drehung *vorwärts* hervorgebracht worden wäre, als die von den Schenkelköpfen *mitgetheilte* Drehung *rückwärts* ist, der Rumpf, damit dies so bliebe, zur vertikalen Lage zurückkehren. Es wirkt aber eine dritte Kraft noch auf den Rumpf, nämlich der Widerstand der Luft. Zerlegt man auch diese Kraft in eine nach der Richtung des geneigten Rumpfes und in eine senkrecht darauf wirkende Kraft, so würde der letztere Theil eine *beschleunigte* Drehung des Rumpfes *rückwärts* hervorbringen, die durch die beschleunigende Schwerkraft immerfort aufgehoben werden muss, was nur geschehen kann, wenn der Rumpf *immerfort vorwärts geneigt* bleibt. Die Grösse dieser fortdauernden Neigung des Rumpfes muss der Grösse dieses Widerstandes, den der Rumpf beim Gehen und Laufen in der Luft findet, angemessen werden, muss daher grösser sein bei schnellerem Gehen und Laufen, weil dann der Widerstand der Luft grösser ist, kleiner bei langsamerem Gehen und Laufen, weil dann der Widerstand kleiner ist. Fände eine solche von der Grösse des Widerstands oder von der Geschwindigkeit des Gehens und Laufens abhängige Neigung des Rumpfes nicht Statt, so könnte zwar auch dann noch eine immer gleiche Lage des Rumpfes beim Gehen oder Laufen erhalten werden, nämlich statt durch die Schwere des Rumpfs selbst, durch die Kraft der ihn mit den Beinen verbindenden Muskeln, was aber mit einem grossen Aufwande von Muskelkraft verbunden sein würde, der durch jene dem Widerstande oder der Geschwindigkeit angemessene Neigung des Rumpfes ganz vermieden werden kann. Dass jene Neigung nun wirklich Statt finde, haben wir durch die Erfahrung zu bestätigen gesucht, und haben die Neigung des Rumpfs beim Gehen und Laufen gemessen und bei verschiedenen Geschwindigkeiten verglichen.

Um die Neigung des Rumpfes bei dem mit verschiedener Geschwindigkeit ausgeführten Gehen oder Laufen zu messen, wurde eine Bahn von $15\frac{1}{11}$ Metern abgemessen und bald mit grösserer, bald mit geringerer Geschwindigkeit durchgangen oder durchlaufen, wobei die gebrauchte Zeit gemessen, und die Schritte gezählt wurden. Nachdem ein Fernrohr 100 Meter seitwärts von dieser Bahn so aufgestellt worden war, dass ein darin befindlicher Faden mit dem Bilde einer am Rumpfe bezeichneten Linie zusammenfiel, so wurde beim Gehen oder Laufen das drehbare Okular des Fernrohrs, das jenen Faden enthielt, so weit herumgedreht, bis der Faden auch dann mit derselben Linie zusammenfiel. Aus der Vergleichung der beiden Stellungen des Okulars mit einander ergab sich der Neigungsunterschied beim Gehen oder Laufen. Die absolute Neigung des Rumpfes wird in jeder Lage durch den Winkel bestimmt, welchen die Vertikallinie mit derjenigen Linie macht, welche

den Schwerpunkt des Rumpfes mit der Mitte der durch beide Schenkelköpfe gehenden Queraxe des Beckens verbindet. Da es nun aber sehr schwer ist, die Lage des Schwerpunkts des Rumpfes bei so verschiedenen Stellungen des Körpers zu finden, so mussten wir statt der von diesem Punkte zu jener Axe der beiden Schenkelköpfe gezogenen Linie, welche unmittelbar die absolute Neigung des Rumpfes gegeben hätte, eine am Rumpfe äusserlich sichtbare und gegen jene möglichst wenig verschiebbare Linie beobachten. Die vertikale Lage des Rumpfes, wie sie in der Ruhe ist, wurde dadurch ausgemittelt, dass der Winkel gesucht wurde, den diese sichtbare Linie beim Hin- und Zurückgehen, ferner beim Hin- und Zurücklaufen, endlich auch beim Stehen in den beiden nämlichen entgegengesetzten Stellungen machte. Der letzte Winkel, von den beiden ersteren abgezogen, giebt die doppelte Neigung des Rumpfes gegen die Vertikale beim Gehen und Laufen, so nahe wie möglich. Wir stellen die durch unsere Messungen gefundenen Resultate in folgender Tabelle zusammen.

Tabelle VII.

Messung der Neigung des Rumpfes beim Gehen und Laufen.

Winkelbewegung der sichtbaren Linie beim Umkehren des Körpers von vorn nach hinten.

a) Beim Stehen:

	13,74°
	13,74°
	13,06°
	15,46°
Mittel	14°00

Schrittlänge	Schrittdauer	Winkelbewegung beim Umkehren	Geschwindigkeit	Doppelte Neigung
b) Beim langsamen Gehen.				
0,629 m	0,833″	18,9°	0,755	4,9°
0,664 m	0,777″	18,9°	0,855	4,9°
0,699 m	0,848″	20,6°	0,824	6,6°
0,664 m	0,793″	20,6°	0,837	6,6°
0,699 m	0,839″	18,9°	0,833	4,9°
0,629 m	0,812″		0,774	
c) Beim schnellen Gehen:				
0,838 m	0,452″	27,8°	1,85	13,8°
0,838 m	0,426″	26,1°	1,97	12,1°
0,838 m	0,429″	27,5°	1,95	13,5°
0,838 m	0,428″		1,96	

Schritt-länge	Schritt-dauer	Winkelbewegung beim Umkehren	Geschwin-digkeit	Doppelte Neigung
0,838 m	0,444″	32,6°	1,89	18,6°
0,816 m	0,438″	31,8°	1,86	17,8°
0,838 m	0,431″	24,9°	1,945	10,9°
0,838 m	0,419″	29,2°	2,00	15,2°
0,838 m	0,439″	27,5°	1,91	13,5°
0,888 m	0,436″	29,2°	2,04	15,2°
0,838 m	9,432″	30,9°	1,94	16,9°
0,888 m	0,438″	32,6°	2,03	18,6°
0,888 m	0,456″	31,8°	1,95	17,8°

d) Beim Laufen:

1,372 m	0,325″	48,1°	4,22	34,1°
1,509 m	0,323″	49,8°	4,67	35°
1,509 m	0,337″		4,48	
1,509 m	0,302″	55,8°	5,00	41,8°
1,509 m	0,300″	56,7°	5,03	42,7°
1,509 m	0,320″	53,3°	4,72	39,3°
1,509 m	0,320″		4,72	

Bei einer anderen Reihe von Messungen haben wir bei verschiedener Geschwindigkeit des Gehens und Laufens die Neigung des Rumpfes, und zwar unmittelbar, zu ermitteln gesucht, indem wir nach § 48 annahmen, dass eine gerade Linie vom Atlas zur Basis des Kreuzbeins durch den Schwerpunkt des Rumpfes gehe: wir drehten das Okular des Fernrohrs so weit, bis der darin aufgespannte Faden mit dieser Linie zusammen zu fallen schien. Die auf diese Weise erhaltenen Resultate stellen wir in der folgenden Tabelle zusammen.

Tabelle VIII.

Messung der Neigung des Rumpfes beim Gehen und Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit.

Schrittlänge	Schrittdauer	Geschwindigkeit	Neigung
a) Beim Gehen:			
0,648 m	0,681″	0,95	5,7°
0,700 m	0,632″	1,11	6,9°
0,795 m	0,622″	1,28	8,1°
0,833 m	0,400″	2,08	10,0°

Schrittlänge	Schrittdauer	Geschwindigkeit	Neigung
	b) Beim Laufen:		
0,648 m	0,311″	2,08	7,2°
0,833 m	0,343″	2,43	8,3°
0,853 m	0,336″	2,53	9,5°
1,060 m	0,323″	3,21	12,1°
1,207 m	0,308″	3,92	13,8°
1,458 m	0,287″	5,08	20,2°
1,522 m	0,240″	6,34	22,5°

Aus diesen Versuchen ergiebt sich, dass der Schwerpunkt des Rumpfes beim Gehen und Laufen nicht senkrecht unterstützt wird, sondern dass vielmehr das vom Schwerpunkte des Rumpfes zu der durch beide Pfannen gehenden Axenlinie gezogene Perpendikel beim Gehen und Laufen eine Neigung nach vorn habe, und dass die Grösse dieser Neigung mit der Geschwindigkeit des Körpers bei diesen Bewegungen wachse und abnehme.

Wir haben uns dabei auch überzeugt, dass, wenn man seine Schritte nicht absichtlich abändert, nicht nur die Geschwindigkeit, mit der der Körper fortgetragen wird, sondern auch die dem Rumpfe ertheilte Neigung bei einem Schritte wie bei dem anderen ist. Der Rumpf verhält sich hierbei demnach allerdings, wie schon oben gesagt worden ist, fast wie ein balancirter, auf dem Finger fortgetragener Stab, so, dass bei ihm, wie bei dem Stabe, die Neigung mechanischen Gesetzen zufolge der Geschwindigkeit angepasst werden muss, mit welcher er fortgetragen wird.

Ueber das Gehen.

§ 92.

Der Rumpf wird beim Gehen auf einem horizontalen Fussboden fast in gerader Linie fortbewegt: die Schwankungen, durch welche er sich abwechselnd dem Fussboden etwas nähert, oder über demselben mehr erhebt, betragen etwa 32 Millimeter, oder die grösste Abweichung vom Mittel nur 16 Millimeter.

Unsere Beobachtungen über die horizontale Fortbewegung des Rumpfes beim Gehen mussten auf irgend einen bestimmten Theil des Rumpfes bezogen werden. Es könnte scheinen, dass wir dazu den-

jenigen Theil des Rumpfes, in welchem der Schwerpunkt liegt, hätten wählen sollen; wir haben dies aber nicht gethan, weil eine passende Bezeichnung dieser Stelle und eine genaue Beobachtung ihrer Bewegungen nicht thunlich war. Hierzu kommt, dass es für die Betrachtung des Gehens von grösserer Wichtigkeit ist, die Bewegung desjenigen Punkts, wo das Bein den Rumpf stützt, zu bestimmen, als die Bewegung des Schwerpunktes des Rumpfes. So wie man nämlich von einem balancirten Stabe sagt, er werde horizontal fortgetragen, wenn sich der ihn tragende Finger horizontal fortbewegt, unbekümmert um die kleinen Auf- und Niederschwankungen, die der Schwerpunkt des Stabes durch geringe Zu- und Abnahme der Geschwindigkeit des Fingers erleidet; so sagen wir beim Gehen, der Rumpf bewege sich dem Fussboden parallel fort, wenn die ihn balancirenden Schenkelköpfe dem Fussboden parallel fortgehen; beziehen also das, was eigentlich nur vom untersten, die Schenkelköpfe berührenden Ende des Rumpfes gilt, auf den ganzen Rumpf.

Um genauere Versuche hierüber anzustellen, bedienten wir uns folgender Hülfsmittel. Einer von uns, dessen Gang beobachtet werden sollte, trug einen in Millimeter getheilten, weissen Maassstab mit schwarzen Linien in seiner Hand, den er an den *trochanter major* in einer solchen Lage fest angedrückt hielt, dass er von dem anderen mit dem Fernrohre gesehen werden konnte, wenn der Gehende ihm den Rücken zukehrte. Da sich die Spitze des *trochanter major* in gleicher Höhe mit dem Mittelpunkte des Schenkelkopfes befindet, und auch immer beim Gehen in gleicher Höhe mit ihm bleibt, so konnte er bei unseren Versuchen anstatt des Schenkelkopfes selbst beobachtet werden. Das Fernrohr wurde in gleicher Höhe mit den Schenkelköpfen und in der Richtung des Wegs aufgestellt. Beobachtete man nun den Gehenden durch das Fernrohr, so sah man, wie sich der an ihm befindliche Maassstab gegen den unbeweglichen, im Fernrohr selbst aufgespannten Faden auf- und abwärts verschob, je nachdem sich der Rumpf senkte oder erhob. Die Messung musste allemal in dem Augenblicke gemacht werden, wo der Gehende in die Entfernung kam, auf welche das Fernrohr eingestellt war. Wir haben auf diese Weise gefunden, dass der Umfang dieser Schwankungen beim schnellen Gehen wenig von dem beim langsamen Gehen verschieden war, nur dass die Messungen beim schnellen Gehen unter einander eine grössere Uebereinstimmung zeigten. Wir stellen daher nur die Resultate der letzten in folgender Tabelle zusammen.

Tabelle IX.

Messung der vertikalen Schwankungen bei 0,730 Meter langen Schritten.

a) Beim Auftreten mit dem ganzen Fusse.[1])

No.	Grösse der Schwankung	Mittel
1.	35 mm	
2.	30 mm	31,7 mm
3.	30 mm	

b) Beim Auftreten mit der Fussspitze.[1])

1.	22 mm	
2.	20 mm	
3.	19 mm	21,0 mm
4.	22 mm	
5.	22 mm	

Diese Messungen gaben den Abstand zweier dem Boden paralleler Linien, zwischen denen der Schenkelkopf beim gleichmässigen Gang immer bleibt. Ziehen wir die Mittellinie, so beträgt die grösste Hebung oder Senkung des Schenkelkopfes über oder unter dieser Mittellinie nicht mehr als 16 Millimeter.

Es folgt hieraus, *dass die den menschlichen Körper beim Gehen unterstützende und fortbewegende Streckkraft des stemmenden Beins auf eine solche Weise wirken müsse, dass, ungeachtet sich die Stellung des Beins ändert, doch seine Streckkraft, nach vertikaler Richtung geschätzt, der Schwerkraft des Körpers nahe gleich sei, so dass dieser weder beträchtlich herabfallen, noch in die Höhe steigen kann.*

§ 93.

Die grösste Schrittlänge, die wir beim Gehen in Anwendung bringen, ist fast der halben Spannweite der Beine gleich.

Ohne Zweifel hängt die Länge der grössten Schritte, die wir machen können, von der Länge unserer Beine ab, daher z. B. Kinder kleine Schritte machen: näher zu bestimmen ist aber, *wie* die Länge der grössten Schritte von der Länge der Beine abhänge. Von der Länge der Beine hängt ihre Spannweite ab, wenn sie einen möglichst grossen Winkel mit einander bilden. Diese grösste Spannweite der Beine nicht selbst, sondern halbirt, ist die Grenze der Schrittlänge, die wir erreichen können. Die grösste Schrittlänge, ergiebt sich aus unseren Versuchen, erreicht nie die grösste Spannweite, sondern man überschreitet beim

[1]) Ueber den Unterschied des Gehens beim Auftreten mit dem ganzen Fusse und mit der Fussspitze siehe § 99.

Gehen höchstens den *halben* Raum auf einmal, den man in der Ruhe bei möglichster Ausstreckung der Beine überspannen kann. Die grösste Spannweite (die Fusslänge nicht mitgerechnet) fanden wir = 1180 Millimeter, die grösste Schrittlänge (nach Abrechnung der Fusslänge) = 620 Millimeter, d. i. nur um $\frac{1}{20}$ grösser als die Hälfte von jener.[1])

Der Grund davon liegt darin, dass, wenn das hintere Bein beim Gehen seine grösste Streckung erreicht, das vordere Bein den Körper in seinem Befestigungspunkte im Hüftgelenke stets *senkrecht* unterstützt, die beiden Beine mit dem Fussboden folglich ein rechtwinkeliges Dreieck einschliessen, welches als die Hälfte des gleichschenkeligen Dreiecks betrachtet werden kann, welches die beiden Beine bei der entsprechenden Spannweite mit dem Boden einschliessen. Diese Erklärung, warum die grössten Schritte, die wir beim Gehen, ohne uns unnatürlich anzustrengen, machen können, halb so gross sind, als der Raum, um welchen die Beine nach vorn und hinten von einander abstehen können, — weil nämlich das vordere Bein beim Gehen in dem Augenblicke, wo das

[1]) Um zu erfahren, welche Weite man freistehend mit den Beinen noch zu erspannen im Stande sei, stellte sich der eine mit nach vorn und hinten möglichst ausgespreizten Beinen auf einen horizontalen Boden. Die Beine bilden in dieser Stellung mit dem Boden ein gleichschenkeliges Dreieck, auf dessen stumpfem Winkel der Körper ruht. Die Lage beider äussersten Zehenspitzen wurde am Boden bezeichnet und ihr Abstand von einander gemessen. Die grösste Spannweite ergab sich hiernach = 1420 Millimeter. Die grösste Länge der Schritte desselben Beobachters, die ohne unnatürliche Anstrengung erreicht werden konnte, betrug dagegen nur etwa 860 Millimeter. Die Länge der Schritte beim Gehen ist daher stets nur ein Theil der grössten Spannweite, und wenn sie am grössten ist, beträgt sie fast nur $\frac{1}{5}$ mehr als die Hälfte. So lang würden aber die Schritte nicht einmal gemacht werden können, wenn sie nicht dadurch eine Verlängerung erhielten, dass sich während der Dauer jedes Schrittes der eine Fuss am Boden abwickelt, siehe § 16. Diese Verlängerung, die der Fusslänge gleich ist, findet nun zwar auch bei der Spannweite Statt: auch diese findet sich so, wie wir sie gemessen haben, nämlich von der Spitze des einen Fusses zur Spitze des anderen Fusses, um die Fusslänge grösser, als sie sich ergeben würde, wenn man sie nach dem Abstand derjenigen Fussstellen, die wirklich *gleichzeitig* gegen den Boden stemmen, nämlich der Spitze des hinteren Fusses und des Hackens des vorderen Fusses, schätzte. Zieht man aber diese, von der wirklichen Ausstreckung der Beine unabhängige Verlängerung von beiden, von der Schrittlänge sowohl als von der Spannweite, ab, so findet man die grösste um die Fusslänge verminderte Schrittlänge fast genau halb so gross wie die grösste um die Fusslänge verminderte Spannweite. Bei unseren Versuchen betrug nämlich die Länge des Fusses 240 Millimeter. Diese von 1420 Millimeter (d. i. der grössten Spannweite) abgezogen, giebt 1180 Millimeter, deren Hälfte 590 Millimeter ist. Zieht man nun diese 240 Millimeter auch von 860 Millimeter (d. i. der grössten Schrittlänge) ab, so erhält man 620 Millimeter, und dies ist nur um $\frac{1}{20}$ grösser als 590 Millimeter. Oder die grösste Spannweite lässt sich fast genau in zwei grösste Schrittlängen zerfällen, nachdem man die Fusslänge ihr zugefügt hat; denn $\frac{1}{2}$ (1420 mm + 240 mm) = 830 mm, statt die grösste Schrittlänge = 860 mm war.

hintere Bein am meisten gestreckt ist, *senkrecht* steht, — lässt sich auf eine andere Weise direkt prüfen, nämlich durch Vergleichung der Länge des gestreckten Beins und der Länge der Schritte (nach Abzug der Fusslänge) mit dem Vertikalabstande des Schenkelkopfs vom Fussboden beim Gehen. Diese drei Linien, welche sich alle unabhängig von einander messen lassen, müssen, wenn unser Satz richtig ist, so befunden werden, dass sie sich zu einem rechtwinkeligen Dreieck zusammensetzen lassen. Wir haben diese drei Linien wirklich unabhängig von einander zu messen gesucht, und, wie die folgenden Paragraphen zeigen werden, unseren Satz dadurch bestätigt gefunden.

§ 94.

Der Rumpf nimmt jeder Zeit beim Gehen eine etwas tiefere Stellung gegen den Boden an, als beim Stehen: er wird um so tiefer gestellt, je schneller wir gehen, und seine Entfernung vom Boden ist bei der nämlichen Gangweise und Geschwindigkeit immer dieselbe.

Da wir aus § 92 wissen, dass die Schenkelköpfe den Rumpf beim Gehen in einer dem horizontalen Fussboden fast parallelen Fläche hintragen, so ist, um die Höhe des vorderen Beins im Augenblicke der grössten Streckung des hinteren Beins zu erfahren, nur nöthig, den Abstand jener Fläche, der die Schenkelköpfe am nächsten bleiben, vom Fussboden zu messen, und davon die Hälfte der kleinen, § 92 gemessenen vertikalen Schwankung abzuziehen, weil nach unserer Beobachtung die Schwankung abwärts gegen Ende der Streckung des hinteren Beins Statt findet. Es soll nun durch die Erfahrung entschieden werden, ob dieser Abstand beim Gehen kleiner als beim Stehen, und um wie viel er kleiner sei. Diese Frage lässt sich durch ähnliche Messungen, wie die § 92 beschriebenen, entscheiden. Wäre z. B. jener Abstand zwar kleiner, als beim Stehen, doch aber nur wenig, so würde bei jenen Versuchen wenigstens in einem Augenblicke jedes Schritts derselbe Skalentheil in das Fadenkreuz treten, den wir während des Stehens darin sahen. Wir bemerkten aber bei obigen Versuchen, dass selbst der tiefste Punkt der Skale, der noch in das Fadenkreuz beim Gehen eintrat, immer noch ein weit höherer Skalentheil war, als der, den wir beim aufrechten Stehen darin gesehen hatten, dass also der Rumpf stets wenigstens um so viel, als dieser Unterschied betrug, beim Gehen tiefer, d. h. dem Fussboden näher war. Wir haben für diesen Unterschied durch Messungen folgende Werthe erhalten.

Tabelle X.

Messung der Senkung des Rumpfes.

a) Beim Gehen auf dem ganzen Fusse mit Schritten von 730 Millimeter Länge.

1. Versuch	24	Millimeter
2. „	26	„
Mittel	25	Millimeter.

b) Beim Gehen auf den Zehen mit Schritten von 730 Millimeter Länge.

1. Versuch	40	Millimeter
2. „	38	„
3. „	35	„
4. „	43	„
Mittel	39	Millimeter.

Zu dieser konstanten Senkung ist in dem Augenblicke, wo das hintere Bein am meisten gestreckt und gegen den Fussboden geneigt ist, noch die ganze variable Senkung, welche der Grösse der, § 92 gemessenen Schwankungen gleich ist, hinzu zu addiren. Diese betrug aber beim Gehen auf dem ganzen Fusse $31\frac{2}{3}$ Millimeter, beim Gehen auf den Zehen 21 Millimeter: folglich betrug die ganze Senkung des Rumpfes in dem Augenblicke, wo das hintere Bein am meisten gestreckt und gegen den Fussboden geneigt war, bei Schritten von 730 Millimeter Länge

auf dem ganzen Fusse = $56\frac{2}{3}$ Millimeter,
auf den Zehen = 60 Millimeter.

Um diese Grösse ist daher das vordere Bein, welches in demselben Augenblicke senkrecht unter den Rumpf zu stehen kommt, verkürzt, im Vergleich zu der Länge, welche es beim aufrechten Stehen hat.

§ 95.

Ueber die Zunahme der Beinlänge durch die Streckung.

Um die Länge des Beins genau zu bestimmen, ist es vor allem nöthig, festzusetzen, welchen Punkt man als den oberen Endpunkt desselben zu betrachten habe. Wir haben den Mittelpunkt des Schenkelkopfs als solchen bezeichnet, weil es derjenige Punkt ist, um welchen sich das Bein bei seinen Bewegungen im Hüftgelenke dreht. Da derselbe aber am Beine nicht unmittelbar zu beobachten ist, so haben wir demselben den obersten Punkt des nach aussen vorspringenden *trochanter major* substituirt, den wir durch Messungen am Skelet der Höhe nach als dem Mittelpunkte des Schenkelkopfs entsprechend gefunden hatten.

Wir maassen nun mittelst eines senkrecht aufgestellten Meters die Höhe dieses obersten Punktes des *trochanter major* bei aufrechter Stellung, wenn das Bein mit seiner ganzen Fussfläche den Boden berührte, und zwar

1. wenn der Schwerpunkt des Körpers möglichst weit nach hinten, vertikal über dem Hacken, lag;
2. wenn der Schwerpunkt des Körpers möglichst weit nach vorn, vertikal über der Fussspitze, lag.

Sodann maassen wir diese Höhe, wenn der Körper auf den Zehen erhoben war, und zwar

3. wenn der Fuss den Boden mit dem Ballen berührte und ein Theil der Last des Körpers, um das Einsinken zu verhüten von den unterstützenden Armen getragen wurde;
4. wenn das Bein auf's äusserste gestreckt nur mit der äussersten Zehenspitze den Boden eben noch berührte, während die ganze Last des Rumpfes von den Armen getragen wurde.

Aus diesen Messungen ergaben sich folgende Resultate:

Tabelle XI.

Messung der Beinlänge bei verschiedener Streckung.

860,3 mm Länge des bis zum Fussgelenk gestreckten Beins, wenn der Schwerpunkt des Körpers beim Stehen vertikal über dem Hacken liegt;

852,5 mm Länge des bis zum Fussgelenk gestreckten Beins, wenn die Last des Körpers beim Stehen vertikal über der Fussspitze liegt;

949,2 mm Länge des bis zum Ballen gestreckten Beins;

980,1 mm Länge des bis zur Zehenspitze gestreckten Beins;

woraus hervorgeht, dass die Verlängerung des Beins fast $\frac{1}{7}$ seiner ganzen Länge beträgt, und diese grösste Verlängerung scheint beim geschwindesten Gehen auch wirklich in Wirksamkeit zu treten.

§ 96.

Messung der Länge des gestreckten hinteren Beins bei verschiedenen Geschwindigkeiten des Gehens.

Um die Verlängerung des Beins, während es sich nach hinten streckt, unmittelbar beim Gehen zu messen, wurde ein Faden an den vorderen Sohlenrand des Schuhes befestigt, und von da bis zum *trochanter major* geführt, daselbst mit zwei Fingern bei mässiger Spannung gehalten, so jedoch dass er sich noch mit Leichtigkeit unter dem Finger

hinwegziehen und dadurch um so viel, als nöthig war, verlängern konnte. Nachdem diese Vorbereitung getroffen worden war, wurde mit gleichmässiger Geschwindigkeit durch einen vorher gemessenen Raum gegangen, und die Zahl der Schritte und die dazu erforderliche Zeit bestimmt. Das Stück des Fadens, das zwischen den Fingern hervorgezogen worden war, gab die Verlängerung des Beins an. Aus der Länge des Weges und der darauf verwendeten Zeit ergab sich die Geschwindigkeit. Diese Versuche wurden bei verschiedenen Geschwindigkeiten des Gehens wiederholt. Folgende Tabelle enthält die durch diese Messungen erhaltenen Bestimmungen.

Tabelle XII.

Messung der Streckung des hinteren Beins beim Gehen mit verschiedener Geschwindigkeit.

17 Meter Länge des Wegs.

No.	Schrittlänge	Schrittdauer	Beinlänge	Geschwindigkeit
1.	0,607 m	0,692″	0,930 m	0,880
2.	0,630 m	0,655″	0,930 m	0,906
3.	0,654 m	0,631″	0,942 m	1,036
4.	0,773 m	0,460″	0,954 m	1,677
5.	0,809 m	0,457″	0,954 m	1,767
6.	0,809 m	0,433″	0,942 m	1,873
7.	0,850 m	0,425″	0,950 m	2,005
8.	0,850 m	0,390″	0,952 m	2,185
9.	0,850 m	0,390″	0,961 m	2,180
10.	0,850 m	0,380″	0,956 m	2,237

Aus diesen Messungen ergiebt sich, dass, je grösser die Schritte sind, desto mehr das hintere Bein gestreckt wird, während aus den Messungen § 94 sich ergab, dass, je grösser die Schritte sind, desto mehr das vordere Bein gebogen wird. Jene Verlängerung des hinteren Beines und diese Verkürzung des vorderen Beines bewirken, dass auch bei einer beträchtlichen Vergrösserung der Schrittlänge diese drei Linien doch immer ein rechtwinkeliges Dreieck bilden.

§ 97.

Beim Gehen schliessen das gestreckte hintere Bein und das vordere Bein mit dem Fussboden ein rechtwinkeliges Dreieck ein.

Bezeichnen wir die in Tabelle XII des vorigen Paragraphen gemessenen Beinlängen mit l, die um die Fusslänge (= 240 mm) zu ver-

mindernden Schrittlängen in derselben Tabelle mit a, so sollte unserem Satze gemäss, dass das vordere Bein in dem Augenblicke, wo das hintere vom Fussboden aufgehoben wird, senkrecht stehe,

$$\sqrt{l^2 - a^2}$$

der Höhe gleich sein, in welcher der herabgesunkene Schenkelkopf beim Gehen sich befindet. Es ergeben sich aber nach Tabelle XII folgende zusammengehörige Werthe für a und $\sqrt{l^2 - a^2}$

No.	a	$\sqrt{l^2 - a^2}$
1.	0,367 m	0,854 m
2.	0,390 m	0,844 m
3.	0,414 m	0,846 m
4.	0,533 m	0,791 m
5.	0,569 m	0,765 m
6.	0,569 m	0,750 m
7.	0,610 m	0,728 m
8.	0,610 m	0,731 m
9.	0,610 m	0,742 m
10.	0,610 m	0,736 m

Wirklich stimmen diese Werthe von $\sqrt{l^2 - a^2}$ mit dem überein, was wir §§ 94 und 95 für die Höhe des herabgesenkten Schenkelkopfs durch direkte Messung gefunden haben. Wir haben nämlich gefunden, dass diese Höhe beim Stehen ungefähr 0,8564 m beim Gehen mit 0,730 m langen Schritten 56,7 mm weniger betrug, d. i. für

a	$\sqrt{l^2 - a^2}$
0,490 m	0,800 m

welches beides in die Mitte fällt zwischen den Angaben in No. 3 und 4. Es geht daraus hervor, dass die drei Linien, nämlich die Länge des gestreckten hintern Beines, die Länge des verkürzten vorderen Beines und die Länge des von ihnen überspannten Wegstückes wirklich, oder wenigstens sehr nahe ein rechtwinkeliges Dreieck bilden.

§ 98.

Die Hebung des hinteren Fusses vom Fussboden wird durch eine Beugung des Knies bewirkt, während der Fuss und die Zehen ausgestreckt bleiben.

Die Aufhebung des hinteren Fusses vom Fussboden wird nicht dadurch bewirkt, dass der Fuss durch seine Beuger gegen den Unter-

schenkel gebogen wird, sondern dadurch, dass, nachdem das hintere Bein zu stemmen aufgehört hat, *das Knie sich beugt*, während der Fuss und die Zehen noch ausgestreckt bleiben. Wir haben uns davon durch Beobachtung gehender Menschen aus der Ferne mit dem Fernrohr überzeugt. Indem der Fuss auf diese Weise nicht vorwärts gedreht, sondern fast senkrecht aufgehoben wird, geschieht die Trennung des Fusses vom Boden momentan und ohne Reibung. Würde der Fuss durch seine Beuger gegen den Unterschenkel gebogen, so würden die Zehen auf dem Fussboden fortgeschleift werden; denn das Fussgelenk liegt in jenem Augenblicke senkrecht über der Fussspitze, und durch eine Drehung im Fussgelenke würde die Fussspitze horizontal fortbewegt werden. Dagegen hat der Unterschenkel in jenem Augenblicke eine sehr geneigte, der horizontalen genäherte Lage, und durch eine Drehung im Kniegelenke wird der Unterschenkel nebst dem ganzen Fusse fast senkrecht gehoben, besonders, weil das Knie auch selbst dabei fortrückt und den Unterschenkel nebst dem ganzen Fusse nachzieht (Siehe § 86 über die *musculi gastrocnemii*). Diese durch Drehung im Kniegelenke hervorgebrachte Hebung des Fusses ist sehr beträchtlich, und wir haben sie, wie folgende Tabelle zeigt, zu messen versucht.

Tabelle XIII.

Messung der Hebung der Füsse beim Gehen.

30 Meter der durchgangene Raum.

Schrittzahl	Zeit	Hebung der Ferse	Hebung der Fussspitze	Geschwindigkeit
41	17,4″	0,178 m	0,092 m	1,72
39	12,7″	0,173 m	0,115 m	2,36

§ 99.

Im Gehen wickelt sich bei jedem Schritte die Sohlenfläche des Fusses vom Boden ab, wodurch der Schritt unabhängig von dem Winkel, den beide Beine mit einander machen, um die Länge des Fusses vergrössert wird.

Wir wissen, dass ein rollendes Rad stets andere und andere Punkte seiner Peripherie mit anderen Punkten des Bodens in Berührung bringt, und dass es auf diese Weise fortbewegt wird, ohne dass eine Verschiebung desselben am Boden Statt zu finden braucht. Man bezeichnet diese Art der Fortbewegung mit dem Ausdrucke: „das Rad wickle sich am Boden ab", und man misst die Länge des Weges, um welche das

Rad fortgerückt ist, indem man mit Hülfe des Meilenmessers zählt, wie oft sich das Rad am Boden abgewickelt hat. Etwas Aehnliches geschieht beim Fusse, während wir gehen. Wir setzen nämlich bei jedem Schritte den vorderen Fuss zuerst mit der Ferse auf, und wir stützen daher zuerst den Rumpf durch das Bein auf die Ferse. Allmählig aber kommen alle Theile der Fusssohle mit dem Boden in Berührung und zuletzt wird die Ferse gehoben, und die Fussspitze allein dient noch als Stützpunkt. Der Stützpunkt des Körpers ist sonach ohne Verschiebung des Fusses am Boden um die Länge des Fusses fortgeschritten. Bei diesem Fortschreiten des Stützpunktes entspricht das Verhalten des Fusses ganz der Abwickelung jenes Rades, nur mit dem Unterschiede, dass die Abwickelung des Rades nie aufzuhören braucht, die des Fusses dagegen bei jedem Schritte beendigt wird und während des folgenden Schrittes wieder von Neuem begonnen werden muss. — Das Gehen auf dem ganzen Fusse (wo man mit der Ferse zuerst auftritt) unterscheidet sich von dem Gehen auf dem Ballen oder Zehen (wo man mit dem Ballen zuerst auftritt) blos dadurch, dass jene Abwickelung im ersteren Falle über die ganze Fusssohle von der Ferse bis zu der Zehenspitze, im letzteren Falle blos über den vorderen Theil der Fusssohle, vom Ballen bis zur Zehenspitze, erstreckt wird.

§ 100.

Wenn das Bein, während es vom Rumpfe frei herabhängt, ausser Gleichgewicht gebracht und seiner Schwere überlassen wird, kehrt es nach dem Gesetz eines Pendels in die Lage des Gleichgewichts von selbst zurück, bewegt sich dann aber weiter fort und schwingt wie ein Pendel.

Wir wissen, dass beim Gehen die Beine die Last des Körpers abwechselnd tragen, und dass die Fortschiebung dieser Last dadurch bewirkt wird, dass jedes Bein während der Zeit, wo es stützt, sich streckt und verlängert. Dieser Einrichtung gemäss muss das jedes Mal stützende Bein hinter dem Rumpfe zurückbleiben und muss nachher den Rumpf wieder einholen, um von Neuem die Funktion des Stützens übernehmen zu können. Diese Bewegung, durch die jedes wechselweise zurückgebliebene Bein den Rumpf wieder einholt, wird nicht durch die Kraft der Muskeln, sondern blos durch die Schwere hervorgebracht. Dies setzt voraus, dass das Bein, wenn es vom Rumpfe frei herabhängt, fähig sei, von der Schwere getrieben, wie ein Pendel zu schwingen. Es ist aber das Bein im Hüftgelenke mit dem Rumpfe zwar sehr beweglich verbunden, jedoch laufen über dieses Gelenk vom Beine zum Rumpfe so bedeutende Muskelstränge hin, die sich zum

Theil mit einer so grossen Fläche am Becken befestigen, dass man glauben könnte, dass diese Muskeln jede pendelartige Schwingung hemmen müssten. Dass dies nicht der Fall sei, beweisen die folgenden Versuche.

Das eine Bein wurde auf eine hohe Unterlage gestellt, so dass das andere Bein vom Rumpfe frei herabhängen konnte, ohne auf den Boden zu stossen. Der Oberleib wurde vorwärts geneigt und durch Auflegen der Arme auf eine feste Unterlage unterstützt. Durch diese Stellung gewinnt nicht nur das Hüftgelenk an Freiheit, sondern auch der Rumpf und das Becken, an dem das Bein hängt, an Festigkeit. Das Bein wurde so bei möglichster Erschlaffung aller am Hüftgelenke liegenden Muskeln in Bewegung gesetzt. Man beobachtet, dass das Bein, blos einmal angestossen, nur wenige Schwingungen macht und bald zur Ruhe kommt. Um daher eine für die Messung hinreichende Zahl von Schwingungen zu erhalten, wurde die Schwingung dadurch unterhalten, dass dem Beine bei jedem Durchgange durch die senkrechte Lage von hinten nach vorn, eine geringe Beschleunigung oder ein kleiner Stoss ertheilt wurde, wodurch die Schwingungsdauer nicht geändert wird. Bei einem solchen Durchgange wurde nun die Tertienuhr ausgelöst und nach Verlauf von 60 Schwingungen wieder angehalten.

Tabelle XIV.

Messung der Dauer von 60 Schwingungen des frei pendulirenden Beines.

a) Ohne Bekleidung des Beins.

No.	Zeit in Sekunden
1.	41,98
2.	41,53
3.	41,60
4.	40,55
5.	41,37
6.	40,98
7.	41,30
8.	41,17
9.	41,80
10.	41,60
11.	41,35
12.	41,30
60 Schwingungen	41,3775
1 Schwingung	0,6896

b) Abwechselnd mit und ohne Bekleidung, zu sehr verschiedenen Zeiten.

No.					
1.	41,68	42,10	42,30	41,78	41,62
2.	41,40	41,12	41,60	41,22	42,07
3.	41,75	41,82	41,60		41,72
4.	40,93	41,63	41,70		41,50
5.	41,58				
6.	41,73				
60 Schw.	41,51	41,67	41,80	41,50	41,73
1 Schw.	0,6927	0,6945	0,6967	0,6917	0,6955

Die Schwingungsdauer des Beins ist hiernach im Mittel

$$= 0{,}693''$$

und die Uebereinstimmung aller Versuche beweist, dass die Kraft, welche das Bein bei diesen Schwingungen treibt, immer die nämliche sei, welches nicht der Fall sein würde, wenn die Muskeln das Bein bewegten, was aber vollkommen dadurch erklärt wird, dass blos die Schwere das Bein zu diesen Schwingungen treibt.

§ 101.

Die grösste Geschwindigkeit, die man mit dem Gehen ohne Verschwendung der Muskelkraft erreichen kann, hängt von der Länge der Beine und von der Schnelligkeit ab, mit der sie, von ihrer eigenen Schwere getrieben, schwingen.

Die Geschwindigkeit des Gehens hängt von der Zahl der Schritte in gegebener Zeit und von der Grösse der Schritte ab. Wir haben beide beim geschwindesten Gehen gemessen. Wir durchgingen die § 90 beschriebene Bahn zu wiederholten Malen in möglichst kurzer Zeit, und zählten dabei die Schritte und maassen die Zeit.

Tabelle XV.

Messung der Geschwindigkeit beim schnellsten Gehen.

47 Meter der durchgangene Weg.

Schrittzahl	Zeit
53	17,57
54	18,00
55	18,20
54,5	18,18
55	18,42
54,5	18,00
54	17,92
55	18,10
54	17,77
54	18,05
54,3	18,021

Aus diesen Versuchen ergiebt sich für das schnellste Gehen, dass die Geschwindigkeit 2,608 Meter (8 Par. Fuss 4 Linien) in 1 Sekunde beträgt. So wenig wir in den letzten Versuchen dieser Reihe eine Abnahme der Geschwindigkeit wahrnehmen, so haben wir auch bei oftmaliger Wiederholung dieser Versuche, wir mochten ausgeruht haben, oder ermüdet sein, stets denselben Werth erhalten, und schliessen daraus, dass, so lange die Muskeln nur noch überhaupt Kraft genug haben, um die Bewegung auszuführen, die Geschwindigkeit nicht von der Stärke der Muskeln, sondern von der Grösse der Beine und von der Kraft, die von aussen auf sie wirkt, abhängt.

§ 102.

Die Dauer eines Schritts beim schnellsten Gehen ist gleich der halben Dauer einer Pendelschwingung des Beins.

Dividiren wir die Länge der durchgangenen Bahn, oder 47 Meter, und die zum Durchgehen derselben gebrauchte Zeit von 18,021″ jede mit der Zahl der Schritte 54,3, so erhalten wir die Grösse der einzelnen Schritte und ihrer Dauer beim schnellsten Gehen

Länge eines Schritts 0,8656 Meter,
Dauer eines Schritts 0,332 Sekunden.

Vergleichen wir die letztere dieser Grössen mit der oben erhaltenen Dauer einer Pendelschwingung des Beins, so ergiebt sich, dass die Dauer eines Schritts beim schnellsten Gehen bis auf einen kleinen Bruch der Hälfte einer einfachen Pendelschwingung des Beins gleich kommt, nämlich es ist

die halbe Dauer einer Pendelschwingung des Beins . .	0,346
die Schrittdauer beim schnellsten Gehen	0,332
der Unterschied	0,014

Auch dieser kleine Unterschied würde noch hinwegfallen, wenn das schwingende Bein auf ähnliche Weise bei jeder Schwingung wie bei jedem Schritte eingezogen worden wäre. — Aus allen diesen Versuchen, sowohl über die Dauer einer einfachen Schwingung des Beins, und über die Schrittdauer beim schnellsten Gehen, ging hervor, dass das Verhältniss beider Zeiträume bei uns fast genau wie 2 : 1 war. Um uns zu überzeugen, dass die Einfachheit dieses Verhältnisses nicht etwas Individuelles sei, haben wir dieselben Versuche bei *vielen Menschen* wiederholt und stellen diese in der folgenden Tabelle zusammen.

Tabelle XVI.

Messungen über die Schwingungsdauer des Beins und über die kleinste Schrittdauer bei verschiedenen Personen.

Benennung der Person	Schwingungsdauer	Schrittdauer
A.	0,730	0,375
B.	0,662	0,337
C.	0,730	0,372
D.	0,680	0,340
E.	0,696	0,348
F.	0,746	0,341
G.	0,740	0,380
H.	0,690	0,370
I.	0,663	0,337
K.	0,678	0,345
L.	0,724	0,362
M.	0,743	0,374
Mittel	0,7068	0,3567

§ 103.

Etwas geringer fällt die Schrittdauer beim schnellsten Gehen aus, wenn wir nicht mit der Ferse, sondern mit dem Ballen auftreten.

Nachfolgende Versuchsreihe ist auf dieselbe Weise wie die vorhergehende gemacht worden, jedoch mit dem Unterschiede, dass dabei nicht mit der Ferse, sondern mit dem Ballen aufgetreten wurde.

Tabelle XVII.

Messung der Schrittdauer beim schnellsten Gehen auf den Zehen.

47 Meter der durchgangene Weg.

Schrittzahl	Zeit
61	19,70
62	20,02
62	19,87
63	20,22
62	20,28
62	20,12
62	20,021

Aus dieser Versuchsreihe ergeben sich im Vergleich mit der vorhergehenden folgende Resultate:

	Schnellstes Gehen auf der Ferse	Schnellstes Gehen auf dem Ballen
Geschwindigkeit	2,608	2,3475
Schrittlänge	0,8656	0,758
Schrittdauer	0,332	0,323

Die Abweichung der Schrittdauer von der halben Dauer einer Pendelschwingung des Beins ist daher beim schnellsten Gehen auf dem Ballen noch etwas grösser, als beim schnellsten Gehen auf der Ferse, nämlich

die halbe Dauer einer Pendelschwingung des Beins . .	0,346
die Schrittdauer beim schnellsten Gehen auf dem Ballen .	0,323
der Unterschied	0,023

wahrscheinlich, weil das schwingende Bein bei jedem Schritte beim Gehen auf dem Ballen noch mehr, als beim Gehen auf der Ferse eingezogen wird.

§ 104.

Beim schnellsten Gehen wird der schwebende Fuss in demselben Augenblicke senkrecht unter seinem Aufhängepunkte am Rumpfe aufgesetzt, in welchem der hintere Fuss vom Boden erhoben wird.

Aus der Uebereinstimmung der Schrittdauer beim schnellsten Gehen mit der halben Dauer einer Pendelschwingung des Beins schliessen wir, dass die erstere durch die letztere bestimmt werde, indem nämlich das hinten vom Boden erhobene Bein, blos von seiner Schwere getrieben, nach vorn schwingt; senkrecht aber unter seinem Aufhängepunkte, dem Hüftgelenke, angelangt, niedergesetzt und dadurch mitten in seiner Schwingung angehalten wird, in dem Augenblicke, wo es die Hälfte seiner Schwingung gemacht hat. In diesem Augenblicke, wo das vordere Bein senkrecht aufgesetzt wird, schliessen wir nun daraus, hat das hintere Bein den höchsten Grad seiner Streckung erreicht, und wird, weil es dem fortschreitenden Rumpfe nicht weiter durch Verlängerung folgen kann, in demselben Augenblicke vom Boden gehoben, um selbst seine Schwingung zu beginnen u. s. w., wodurch es geschehe, dass die Dauer eines Schritts beim schnellsten Gehen der Zeit gleich sein müsse, während welcher jedes Bein schwinge, bis es senkrecht aufgesetzt wird, und welche selbst wieder der halben Dauer einer Pendelschwingung des Beins gleich ist. Der geringe Unterschied, den wir finden zwischen der Dauer der Schritte beim schnellsten Gehen und der halben Dauer einer Schwingung des Beins, wenn wir es frei hängend penduliren lassen, erklärt sich, wie wir schon erwähnt haben, daraus, dass wir im letzteren Falle dem schwingenden Beine seine natürliche Länge lassen, die es erschlafft und frei hängend anzunehmen pflegt; wenn das Bein

dagegen, während wir gehen, von hinten nach vorn schwingt, muss es verkürzt werden, um nicht auf dem Boden aufzustossen, um so mehr, da nach § 94 die Hüftgelenke beim Gehen dem Boden etwas näher liegen als beim Stehen.

§ 105.

Versuche über die Schwingungen der Beine an einem Leichname angestellt.

Wir haben zur Vergleichung mit obigen Versuchen an lebenden Menschen die Dauer der Schwingung eines Beins auch am Leichname gemessen. Wir stellten diese Messungen theils im unverletzten Zustande an, nachdem die Todtenerstarrung bereits vorbei war, theils nachdem die Muskeln, die über das Hüftgelenk hinlaufen, sämmtlich durchschnitten waren, und das Bein nur noch mit seinen Bändern am Rumpfe hing, theils endlich am Beine allein, nachdem es vom Rumpfe ganz gesondert war, indem wir es frei an einem kurzen Faden aufhingen, durch welchen die Schwingungsdauer des Beins, im Vergleich zu derjenigen, welche das Bein gehabt hätte, wenn es um eine genau durch den Mittelpunkt seines Schenkelkopfs gehende Axe frei geschwungen hätte, nur sehr wenig vergrössert wurde. Folgendes sind die Resultate dieser Versuche und deren Vergleichung mit den vorhergehenden Versuchen über die Schwingungen des lebenden Beins.

Tabelle XVIII.

Vergleichung der Schwingungsdauer des Beins am Leichname und an lebenden Menschen.

No.	Länge des Beins	halbe Dauer einer Schwingung	Bezeichnung des Beins
1.	0,831 m	0,370″	ein exarticulirtes frei aufgehangenes Bein
2.	0,866 m	0,371″	desgleichen
3.	0,831 m	0,366″	ein bis auf die Kapsel vom Rumpfe getrenntes Bein
4.	0,831 m	0,355″	ein unverletztes Bein am Leichname
5.	0,860 m	0,346″	ein lebendes Bein an schlaffen Muskeln frei herabhängend
6.	0,860 m	0,332″	ein lebendes Bein beim Gehen auf der Ferse
7.	0,860 m	0,323″	ein lebendes Bein beim Gehen auf dem Ballen

Wir sehen aus dieser Tabelle, dass die Schwingungsdauer der Beine unter sehr verschiedenen äusseren Verhältnissen derselben, wenn ihre Länge ziemlich dieselbe war, nur eine geringe Verschiedenheit zeigte, die im Voraus zu erwarten war, und leicht erklärt werden kann. Sie

war am grössten, wenn das Bein abgeschnitten und ganz frei aufgehängt war; sie war geringer, als das Bein nach Durchschneidung der umgebenden Theile blos in der Pfanne noch hing; sie war noch kleiner am unverletzten todten Beine. Im lebenden Zustande war sie geringer als im todten. Am lebenden Beine war sie aber wiederum geringer, wenn das Bein beim Gehen schwang, als wenn es frei und erschlafft herabhängend angestossen und dadurch in Schwingung versetzt ward. Eine geringe Elasticität der Bänder und Muskeln, die das Bein mit dem Rumpfe verbinden, und eine ungleiche Verkürzung des Beins musste so geringe Abänderungen der Schwingungsdauer bewirken, und wir haben keinen Grund zu vermuthen, dass die Lebenskraft der Muskeln darauf Einfluss gehabt habe.

Wir haben bis jetzt ausschliesslich das geschwindeste Gehen in Betracht gezogen, weil sich dasselbe in der Reihe der verschiedenen Gangarten als ein in der Natur des Gehens selbst begründeter Grenzpunkt charakterisirt, und weil das Gesetz, durch welches die Grösse der Schrittdauer und Schrittlänge bestimmt wird, hier besonders einfach ist. Wir wollen jetzt den Gang bei verschiedener Geschwindigkeit betrachten und beobachten, auf welche Weise sich das Verhältniss jener beiden Grössen zu einander ändere.

§ 106.

Wenn man ganz natürlich und ungezwungen einmal langsamer, das andere Mal geschwinder geht, so macht man beim schnelleren Gehen nicht nur grössere, sondern auch in gleicher Zeit mehr Schritte; umgekehrt, je langsamer man geht, desto kleiner macht man die Schritte und zugleich auch desto weniger in gleicher Zeit; oder die Schrittlänge wächst mit abnehmender Schrittdauer und umgekehrt.

Um eine Reihe mit einander vergleichbarer Versuche über den natürlichen Gang[1]) bei verschiedener Geschwindigkeit zu machen, durchging derjenige, welcher die Versuche machen wollte, die § 90 beschriebene Bahn zu wiederholten Malen anfangs sehr geschwind, dann immer langsamer, ohne auf die Länge und Dauer der Schritte irgend zu achten, um die Natürlichkeit des Ganges nicht zu stören. Doch zählte er dabei die Schritte, die er machte, und liess die Tertienuhr gehen, so lange er die Bahn durchging, um die Zeit zu messen. Die folgende Tabelle

[1]) Wir verstehen unter dem natürlichen Gange denjenigen, den wir unwillkürlich wählen, ohne auf die einzelnen Schritte zu achten, blos in der Absicht, um fortzukommen. Wer auf Reisen Tage lang fortgeht, wird immer so gehen, weil man so am wenigsten ermüdet. Die Geschwindigkeit dabei kann sehr verschieden sein; doch pflegt sie, ohne unsere Absicht, sich nicht zu ändern.

enthält die Resultate einer solchen Versuchsreihe. Die erste Kolumne giebt die Zahl der Schritte; die zweite die Zeit, in welcher die Bahn durchgangen wurde; die dritte, vierte und fünfte die daraus berechnete Schrittdauer, Schrittlänge und Geschwindigkeit.

Tabelle XIX.

Versuche über den natürlichen Gang[1]) *mit verschiedener Geschwindigkeit.*

43,43 Meter der durchgangene Weg.

Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
51	18,12″	0,335″	0,851 m	2,397
52	20,48″	0,394″	0,835 m	2,119
54	22,55″	0,417″	0,804 m	1,928
54	24,83″	0,460″	0,804 m	1,748
55	26,38″	0,480″	0,790 m	1,646
57	28,90″	0,507″	0,762 m	1,503
60	33,70″	0,562″	0,724 m	1,288
61	34,92″	0,572″	0,712 m	1,245
65	39,27″	0,604″	0,668 m	1,106
66	41,60″	0,630″	0,658 m	1,044
69	45,72″	0,663″	0,629 m	0,949
69	46,07″	0,668″	0,629 m	0,942
73	53,02″	0,726″	0,595 m	0,819
76	57,72″	0,760″	0,572 m	0,753
82	69,40″	0,846″	0,530 m	0,627
80	68,78″	0,860″	0,543 m	0,631
88	79,67″	0,905″	0,493 m	0,545
97	93,67″	0,966″	0,448 m	0,464
101	104,08″	1,030″	0,430 m	0,417
109	114,40″	1,050″	0,398 m	0,379

Wir haben noch eine andere Reihe solcher Versuche gemacht, mit dem Unterschiede, dass nach einem laut angegebenen Takte gegangen wurde, ähnlich, wie es bei den Truppen, wenn sie marschieren, geschieht. Der Gang wurde so frei und natürlich ausgeführt, als es bei so vorgeschriebenem Takte möglich war. Man bemerkt dabei *erstens*, dass die Schritte durchgängig etwas grösser ausfallen, als bei ganz freiem Gange; *zweitens*, dass die Grösse der Schritte abnimmt, wenn ihre Dauer zunimmt, ähnlich wie bei den vorhergehenden Messungen; *drittens*, dass bei vorgeschriebenem Takte ein *sehr langsamer* Gang sich weit regelmässiger (auch was die Schrittlänge betrifft) als

[1]) Bei diesen Versuchen wurde mit dem ganzen Fusse auf den Boden getreten.

ohne dies fortsetzen lässt, der Langsamkeit ungeachtet aber der Gang dann mehr Anstrengung verursacht. Die folgende Tabelle enthält unsere Messungen hierüber.

Tabelle XX.

Versuche über das Marschieren nach dem Takte.

43,43 Meter der durchgangene Weg.

Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
49,3	21,50″	0,436″	0,881 m	2,020
52,3	27,17″	0,519″	0,831 m	1,598
54,7	32,35″	0,592″	0,794 m	1,342
61,7	43,57″	0,706″	0,704 m	0,997
68,8	55,08″	0,801″	0,631 m	0,789
74,2	64,02″	0,863″	0,585 m	0,678
87,1	83,72″	0,961″	0,499 m	0,519
100,5	105,16″	1,046″	0,432 m	0,413
111,5	124,00″	1,112″	0,390 m	0,350

Die vorhergehenden Paragraphen haben gezeigt, dass beim schnellsten Gehen die Länge der einzelnen Schritte der halben Spannweite der Beine um die Länge des Fusses vergrössert fast gleich sei, nämlich etwa 830 bis 860 Millimeter (durch eine zweckwidrige, mit grosser Anstrengung verbundene Verwendung der Muskelkraft kann sie zwar noch vergrössert werden, worauf wir aber hier keine Rücksicht nehmen); dass ferner die Dauer der einzelnen Schritte der halben Schwingungsdauer des Beins alsdann fast gleich sei, nämlich fast 0,346″. Die Tabelle belehrt uns, dass dieses Verhältniss der Schrittlänge zur Schrittdauer sich beim langsamen Gehen auf doppelte Weise ändert: *erstens* dadurch, dass die Schrittlänge kleiner wird; *zweitens* dadurch, dass die Schrittdauer grösser wird, was beides zur Verlangsamung des Gehens beiträgt. Ordnen wir daher, wie es in Tabelle XIX und XX geschehen ist, die Versuche nach der Grösse der Schrittlänge oder nach der Grösse der Schrittdauer, so sehen wir, dass, während die *Schrittdauern* in der Tabelle von oben nach unten zunehmen, oder eine *wachsende Reihe* bilden, die *Schrittlängen* von oben nach unten abnehmen, oder eine *abnehmende Reihe* bilden.

Die *Schwingung* des schwebenden Beins kann beim Gehen auf eine doppelte Weise abgeändert werden. *Erstens* nämlich kann die *Exkursionsweite* der Schwingung verkleinert oder vergrössert werden, wodurch die Schwingungsdauer sehr wenig verändert wird. Es ist nämlich bekannt, dass ein schwingendes Pendel grosse oder kleine Bögen beschreibt, ohne dass eine merkliche Aenderung seiner Schwingungsdauer Statt

findet. Man sagt daher, die Schwingungsdauer eines Pendels hänge nur wenig von seiner Exkursionsweite ab. Dasselbe gilt auch vom schwingenden Beine. *Zweitens* kann die Schwingung des Beins beim Gehen früher oder später *unterbrochen* werden. Wir haben nämlich nachgewiesen, dass das Bein beim Gehen seine Schwingung nicht ganz vollendet, sondern in derselben durch Aufsetzen auf den Boden unterbrochen wird. Z. B. haben wir gefunden, dass beim geschwindesten Gehen die von dem einen oder anderen Beine zurückgelegte Abtheilung des Schwingungsbogens nur die Hälfte des ganzen Schwingungsbogens betrage. Wir können diese Abtheilung *vergrössern,* wenn wir das Bein weiter schwingen lassen, bevor wir auftreten. *Beide* Arten, die Schwingung des Beins beim Gehen abzuändern, kommen bei Aenderung der Geschwindigkeit des Gehens zugleich in Anwendung. Durch die *Verkleinerung* der Exkursionsweite wird die Länge der Schritte verkürzt, und zugleich wird durch *spätere* Unterbrechung der Schwingung oder durch Zurücklegung einer grösseren Abtheilung des Schwingungsbogens einerseits die Länge, andererseits die Dauer der Schritte vermehrt. Die Erfahrung, dass langsamere Schritte kleiner, schnellere grösser sind, beweist daher, dass mit der Verlangsamung der Schritte die Exkursionsweite schneller abnimmt, als die vom Beine zurückgelegte Abtheilung des ganzen Schwingungsbogens zunimmt; denn würde diese um eben so viel vergrössert, als jene verkleinert, so bliebe die Schrittlänge unverändert.

Wir bemerken noch, dass unter den verschiedenen Gangarten, welche die obige Tabelle kennen lehrt, diejenigen die bequemsten waren, wo die Schrittdauer $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ Sekunde betrug. Die viel grössere Bequemlichkeit, welche diese Gangarten auszeichnet, scheint ihren Grund vorzüglich in der gleichzeitigen Bewegung der Arme zu haben. Es ist bekannt, dass, wenn der Gang nicht steif und beschwerlich werden soll, die Arme in kleinen Bögen gleichzeitig schwingen müssen, und zwar begleitet der linke schwingende Arm das rechte Bein in seinen Bewegungen, und umgekehrt. Der Rumpf wird durch diese Bewegung der Arme beim Gehen balancirt, und dadurch eine sonst erforderliche Muskelanstrengung vermieden. Wir haben daher an vielen Menschen und auch am Leichname Versuche über das Verhältniss der Schwingungsdauer der Arme zu der der Beine angestellt, und mit grosser Uebereinstimmung gefunden, dass die Dauer einer einfachen Schwingung des gerade herabhängenden Arms immer nahe

$$0{,}63'',$$

die Dauer einer einfachen Schwingung des im Ellenbogen rechtwinkelig gebogenen Arms

$$0{,}53''$$

betrug, woraus sich ergiebt, dass diejenigen Gangarten vorzüglich bequem sind, wo die Arme, ohne von Muskelkraft bewegt zu werden, die schreitenden Beine schwingend begleiten können.

§ 107.

Versuche über die Schwingungsdauer der Beine beim Gehen.

Die Versuche in den vorigen Paragraphen beweisen, dass beim langsamen Gehen die Schrittdauer grösser werde, und wir haben dies daraus erklärt, dass das Bein länger schwinge, ehe es durch Aufsetzen auf den Boden in seiner Schwingung unterbrochen werde. Um diese Erklärung zu rechtfertigen, haben wir den Zeitraum, in welchem bei jedem Schritte ein Bein schwingt, zu messen versucht. Will man nun nicht die ganze Dauer eines Schritts, sondern nur den Abschnitt davon, wo das eine Bein schwingt, messen, so kann man nicht, wie bei der Messung der Schrittdauer, eine Reihe solcher Zeitabschnitte zusammen messen, und die Dauer der einzelnen daraus berechnen, was eine grössere Genauigkeit gewährt, sondern, weil diese Abschnitte nicht einer dem anderen unmittelbar folgen, muss man sich beschränken, einen einzelnen solchen Zeitabschnitt für sich zu messen. Statt diesen Zeitabschnitt aber selbst zu messen, haben wir seine Ergänzung zur Dauer eines Doppelschritts gemessen, woraus wir jenen Zeitabschnitt berechnen können, da die Schrittdauer bekannt ist. Während der Dauer eines Doppelschritts *schwingt* das Bein einmal und *steht* einmal, und die Zeit, wo es schwingt, ergänzt daher die Zeit, wo es steht, zur Dauer eines Doppelschritts. Um nun die Zeit, wo das Bein *steht*, zu messen, wurde die Tertienuhr, Fig. 21, in einen massiven Holzblock *abcd* eingelassen, so dass daraus der Stift noch eben hervorragte, durch dessen Niederdrücken die Uhr ausgelöst und in Gang gebracht wird. Dieser Block wurde in den Fussboden versenkt und die Uhr beim Gehen durch Auftreten des Fusses auf den Stift selbst ausgelöst, worauf sie so lange fortging, bis der Fuss wieder aufgehoben wurde. Die Zeit, wo der Fuss stand, findet man aus dem beobachteten Stande der Uhr vor- und nachher. Um jedoch zu vermeiden, dass durch Abwickelung des Fusses vom Boden die Uhr nicht früher gehemmt würde, als das Bein vom Boden gehoben, traten wir nicht mit dem Fusse unmittelbar auf den die Uhr auslösenden Stift auf, sondern legten über den Stift ein längeres leichtes Bret auf, und traten auf das Bret auf, wodurch der Stift so lange, als der Fuss auf dem Brete stand, niedergedrückt wurde. Mit einer zweiten Tertienuhr wurde dabei, wie früher, zugleich die Zeit des Durchgehens der ganzen Bahn gemessen und die Schritte gezählt, um daraus jedes Mal die Schrittdauer und Schrittlänge zu bestimmen. Wir haben, wie früher, mit den

schnellsten Schritten begonnen, und sind allmählig zu langsameren übergegangen. Folgende sind die Resultate dieser Messungen:

Tabelle XXI.

Versuche über die Zeit, wo das Bein steht, bei verschiedenen Geschwindigkeiten des Gehens.[1])

Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit	Dauer des Stehens
0,344″	0,790 m	2,30	0,341″
0,376″	0,804 m	2,14	0,400″
0,429″	0,755 m	1,76	0,484″
0,523″	0,657 m	1,27	0,570″
0,742″	0,659 m	0,89	0,817″

Es ergiebt sich hieraus folgende Uebersicht über das Verhältniss der Schrittdauer und der Zeit des Stehens und Schwingens eines Beins bei jedem Doppelschritte für sehr verschiedene Gangarten.

Schrittdauer	Dauer des Stehens	Dauer des Schwingens
0,344″	0,341″	0,347″
0,376″	0,400″	0,352″
0,429″	0,484″	0,374″
0,523″	0,570″	0,476″
0,742″	0,817″	0,667″

Es folgt aus diesen Versuchen, dass die Zeit, wo das Bein schwingt, beim schnellsten Gehen am kleinsten und zwar der halben Schwingungsdauer des Beins gleich ist; dass sie aber desto mehr wachse, je langsamer man geht: dass folglich auch die Abtheilung, welche das schwingende Bein von seinem ganzen Schwingungsbogen zurücklegt, die Hälfte des ganzen Schwingungsbogens desto mehr übersteige, je langsamer man geht.

Das Nämliche ergiebt sich aus einer anderen Reihe von Versuchen, die wir zu gleichem Zwecke zu einer anderen Zeit gemacht haben, und die wir in der folgenden Tabelle zusammenstellen.

Tabelle XXII.

Versuche über die Zeit, wo das Bein steht, bei verschiedener Geschwindigkeit des Gehens.

Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit	Dauer des Stehens
0,317″	0,820 m	2,587	0,317″
0,430″	0,740 m	1,721	0,513″
0,463″	0,712 m	1,537	0,504″
0,582″	0,621 m	1,067	0,692″
0,660″	0,562 m	0,851	0,782″

[1]) Es wurden diese Versuche so gemacht, dass der Fuss beim Gehen blos mit dem Ballen auf den Fussboden trat.

woraus sich folgende Vergleichung zwischen den Zeiträumen, wo das Bein steht und schwingt, ergiebt

Schrittdauer	Dauer des Stehens	Dauer des Schwingens
0,317″	0,317″	0,317″
0,430″	0,513″	0,347″
0,463″	0,504″	0,422″
0,582″	0,694″	0,472″
0,660″	0,782″	0,538″

§ 108.

Das natürliche Verhältniss der Schrittdauer zur Schrittlänge kann willkürlich abgeändert werden; diese Abänderungen sind aber in gewissen Grenzen eingeschlossen.

Wir bezeichnen nach § 106 mit dem *natürlichen* Gange denjenigen, den wir haben, wenn wir ganz unbefangen gehen und dabei so viel wie möglich alle Willkür ausschliessen. Wir haben gesehen, dass bei diesem Gange bald eine grössere, bald eine kleinere Geschwindigkeit Statt finden kann, dass aber durch jede Geschwindigkeit ein eigenthümliches Verhältniss der Schrittdauer zur Schrittlänge bedingt werde, und dass dieses Verhältniss bei sehr verschiedener Geschwindigkeit sehr verschieden sei. Obgleich wir nun wissen, dass der natürliche Gang der Menschen nach ihrer Individualität sehr verschieden ist, und dass man nur sehr selten zwei Menschen findet, bei deren natürlichem Gange die Grösse und Dauer der Schritte vollkommen übereinstimmen, so wissen wir doch auch eben so gut, dass von zwei und mehreren Menschen sehr leicht und ohne grosse Unbequemlichkeit einer seine Schritte denen des anderen akkommodirt, so dass beim Militär grosse Truppenmassen, wenn sie einexercirt sind, nach dem durch die Trommel oder durch die Musik angegebenen Takte sich in Schritten von gleicher Grösse und Dauer mit Leichtigkeit bewegen. Es kommt demnach darauf an, die Grenzen zu ermitteln, innerhalb welcher der Mechanismus des Gehens die Dauer der Schritte bei vorgeschriebener Schrittlänge abzuändern gestattet. Um durch Versuche diese Grenzen zu ermitteln, war eine Einrichtung zur Regulirung der Schrittlänge nothwendig, wodurch dieselbe immer gleich gross erhalten werden konnte. Zu dem Ende legten wir in dem Vorraum vor dem Anfange der Bahn Maassstäbe hin, und bezeichneten an denselben durch verschiebbare Marken die Grösse der Schritte, die wir machen wollten. Hat man eine Anzahl Schritte von einer gewissen Länge gemacht, so ist es sehr leicht und natürlich in einer solchen Gangweise fortzufahren. Man konnte daher auf diese Weise erwarten, dass man, am Anfang der Bahn

angelangt, in ihrer ganzen Länge ungezwungen lauter Schritte von der vorgeschriebenen Länge machen würde. Indem wir nun bestimmte Schrittlängen von der grössten bis zu der kleinsten abmaassen, durchgingen wir, indem wir der Reihe nach eine jede von diesen Schrittlängen gebrauchten, die Bahn wenigstens zweimal, einmal mit möglichst schnell, ein zweites Mal mit möglichst langsam auf einander folgenden Schritten, und erhielten so zwei Reihen von Messungen, welche die Grenzen der Schrittdauer für vorgeschriebene Schrittlängen kennen lehren.

Tabelle XXIII.

Versuche über die kürzeste Dauer, welche die Schritte bei vorgeschriebener Länge erhalten können.

43,43 Meter der durchgangene Raum.

Vorgeschriebene Schrittlänge	Schrittzahl	Zeit	Kürzeste Schrittdauer	Wahre Schrittlänge	Geschwindigkeit
0,820 m	51	15,88″	0,311″	0,851 m	2,736
	54	16,63″	0,308″	0,804 m	2,612
	53	17,48″	0,330″	0,820 m	2,485
	53	17,65″	0,333″	0,820 m	2,461
	54	18,37″	0,340″	0,804 m	2,364
0,760 m	56	18,50″	0,330″	0,775 m	2,348
	57	19,80″	0,347″	0,762 m	2,193
	56	19,70″	0,352″	0,775 m	2,205
	57,5	19,52″	0,339″	0,755 m	2,225
0,720 m	59	19,48″	0,330″	0,736 m	2,230
	59	19,10″	0,324″	0,736 m	2,274
	62	20,17″	0,325″	0,700 m	2,153
	61	20,03″	0,328″	0,712 m	2,168
0,620 m	69	22,40″	0,325″	0,630 m	1,939
	68	22,20″	0,327″	0,638 m	1,956
	72	23,83″	0,331″	0,603 m	1,823
	71	21,20″	0,300″	0,612 m	2,049
0,520 m	83	29,27″	0,353″	0,523 m	1,484
	80	27,12″	0,339″	0,543 m	1,601
	83	27,12″	0,327″	0,523 m	1,601
	81,5	26,58″	0,326″	0,533 m	1,634
0,420 m	106	34,20″	0,323″	0,410 m	1,270
	101	32,33″	0,320″	0,430 m	1,343

Eine ähnliche Reihe von Versuchen, zu einer anderen Zeit angestellt, ergab folgende Resultate:

Vorgeschriebene Schrittlänge	Schrittzahl	Zeit	Kürzeste Schrittdauer	Wahre Schrittlänge	Geschwindigkeit
0,860 m	49,7	16,24″	0,326″	0,873 m	2,674
0,820 m	53,3	16,16″	0,303″	0,815 m	2,690
0,720 m	60	18,60″	0,311″	0,725 m	2,331
0,620 m	69	21,25″	0,309″	0,632 m	2,045
0,520 m	82	24,74″	0,302″	0,530 m	1,755
0,400 m	109	32,62″	0,300″	0,397 m	1,323

Ungeachtet bei diesen Versuchen die Grösse der Schritte von 873 Millimeter bis 397 Millimeter abnahm, blieb die Schrittdauer durchgängig fast dieselbe, und war immer der halben Schwingungsdauer des Beins fast gleich, woraus folgt, dass bei diesen Versuchen zwar die Excursionsweite des schwingenden Beins vermindert, wodurch die Schrittlänge verkürzt wurde, dass aber vom schwingenden Beine immer eine gleiche Abtheilung seines ganzen Schwingungsbogens zurückgelegt wurde, ehe es auf den Boden auftrat, nämlich die Hälfte, welches der geringste Theil des ganzen Schwingungsbogens ist, der beim Gehen vom Beine zurückgelegt werden muss.

Die folgende Tabelle enthält die Versuche, wo die Bahn bei vorgeschriebener Schrittlänge möglichst langsam durchgangen wurde, jedoch so, dass nie zwischen zwei Schritten eine Pause eintrat, sondern der Körper stetig vorwärts rückte.

Tabelle XXIV.

Versuche über die längste Dauer, welche die Schritte bei vorgeschriebener Länge erhalten können.

43,43 Meter der durchgangene Raum.

Vorgeschriebene Schrittlänge	Schrittzahl	Zeit	Längste Schrittdauer	Wahre Schrittlänge	Geschwindigkeit
0,800 m	54	46,68″	0,865″	0,804 m	0,930
	55	47,27″	0,860″	0,790 m	0,919
0,700 m	63	61,63″	0,978″	0,690 m	0,705
	63	61,22″	0,972″	0,690 m	0,709
0,600 m	70,5	77,32″	1,097″	0,616 m	0,562
	74	78,20″	1,057″	0,587 m	0,555
	73,5	77,88″	1,060″	0,591 m	0,558
	71	74,32″	1,047″	0,612 m	0,584

Vorgeschriebene Schrittlänge	Schritt-zahl	Zeit	Längste Schrittdauer	Wahre Schrittlänge	Geschwin-digkeit
0,500 m	84,5	96,78″	1,145″	0,514 m	0,449
	82	92,42″	1,127″	0,530 m	0,470
	87	98,58″	1,133″	0,500 m	0,441
0,400 m	101	125,37″	1,241″	0,430 m	0,346
	102	130,90″	1,284″	0,426 m	0,332
	109	120,75″	1,180″	0,400 m	0,360
	105	126,38″	1,203″	0,414 m	0,336

Diese Versuchsreihe ist der vorigen ähnlich, mit dem Unterschiede, dass, während die Abtheilung, welche das schwingende Bein von seinem ganzen Schwingungsbogen zurücklegt, ehe es auftrat, dort möglichst klein war, nämlich nur die Hälfte des ganzen Schwingungsbogens betrug, hier möglichst gross ist und sich dem ganzen Schwingungsbogen sehr nähert. Die Schrittdauer ist hier durchgehends grösser als die ganze Schwingungsdauer des Beins (= 0,694″), was daher rührt, dass, nachdem das Bein durch seine über die Hälfte fortgesetzte Schwingung dem Rumpfe vorausgeeilt ist, der letztere im nächstfolgenden Zeitraume dasselbe wieder einholen muss; der hintere Fuss aber, ehe dies geschehen ist, den Boden nicht verlassen darf, daher einige Zeit lang beide Beine zugleich auf dem Boden stehen, wodurch die Schrittdauer grösser wird, als die Schwingungsdauer des Beins, ungeachtet das Bein auch hier keine ganze Schwingung macht.

§ 109.

Bildliche Darstellung der Versuche.

Um die Gesetzmässigkeit, mit welcher in den vorhergehenden Versuchsreihen das Verhältniss der Schrittlänge zur Schrittdauer sich ändert, besser übersehen zu können, haben wir für jede Reihe die zusammengehörigen Schrittlängen und Schrittdauern in einer linearen Zeichnung dargestellt. Wir haben nämlich die verschiedenen Schrittlängen 10 Mal verkleinert als Abscissen, die zugehörigen Schrittdauern (die Sekunde durch 0,100 Meter dargestellt) als Ordinaten rechtwinkelig auf den Endpunkten der Abscissen aufgetragen. Das Gesetz, nach welchem sich das Verhältniss beider Grössen ändert, erscheint sonach in einer Kurve, welche die Endpunkte aller Ordinaten mit einander verbindet. Fig. 22 a ist der Anfangspunkt der Abscissenlinie; ab, ac, ad u. s. w. die 10 Mal verkleinerten Schrittlängen; bb', cc', dd' u. s. w. die zugehörigen Schrittdauern (die Sekunde durch 0,100 Meter dargestellt). Die Kurve $b'c'd'$... stellt das Gesetz dar, nach welchem sich das Verhältniss der Schrittlänge zur Schrittdauer ändert. Dadurch, dass in dieser Figur die Kurve

rückwärts in die Höhe steigt, wird die Zunahme der Schrittdauer bei abnehmender Schrittlänge ausgedrückt. Die Annäherung dieser rückwärts aufsteigenden Kurve an eine gerade Linie beweist, dass die zusammengehörigen Aenderungen der Schrittlänge und Schrittdauer einander fast proportional sind. Fig. 23, welches die kürzesten Schrittdauern für vorgeschriebene Schrittlängen darstellt, sehen wir dagegen, dass sich die Kurve, weil alle Schrittdauern fast gleich sind, der Abscissenlinie fast parallel sei. In Fig. 24 haben wir alle drei Kurven über einer und derselben Abscissenlinie gezeichnet, wodurch man den Spielraum übersieht, innerhalb dessen der menschliche Gang nach Willkür sich ändern lässt. Dieser Spielraum wird durch den von den beiden äussersten Kurven eingeschlossenen Raum dargestellt. Die den natürlichen Gang darstellende Kurve geht durch die Mitte dieses Raums diagonal hindurch, so, dass sie am Anfang der einen Grenzlinie, am Ende der anderen Grenzlinie sehr nahe kommt.

§ 110.

Versuche über das Gehen auf dem Ballen.

Wir haben in den vorhergehenden Paragraphen diejenige Gangweise betrachtet, wo man mit der ganzen Fussfläche auf den Boden auftritt, und wollen nun diejenige betrachten, wo man blos mit dem Ballen auftritt. Diese Modifikation des Ganges ist minder natürlich, und wir würden sie von unserer Untersuchung ausschliessen, wenn nicht die ihr eigentümliche Art des Auftretens beim Laufen die normale wäre, und daher eine direkte Vergleichung des Laufens mit dem Gehen nur möglich ist, wenn letzteres gleichfalls auf dem Ballen geschieht. Wir haben daher für das Gehen auf dem Ballen ähnliche Versuchsreihen, wie für das Gehen auf der ganzen Fussfläche angestellt.

Tabelle XXV.

Versuche über den natürlichen Gang auf dem Ballen bei verschiedener Geschwindigkeit.[1])

43,43 Meter der durchgangene Raum.

Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
54	18,08″	0,335″	0,804 m	2,402
54,7	19,00″	0,347″	0,794 m	2,288
55	19,72″	0,359″	0,790 m	2,201
55	20,72″	0,377″	0,790 m	2,096
59	23,53″	0,399″	0,736 m	1,845

[1]) Wiewohl das Gehen auf dem Ballen im Allgemeinen minder natürlich zu sein scheint, als das Gehen auf der ganzen Fussfläche, so gebrauchen wir doch auch davon das Beiwort *natürlich*, um dadurch besonders zu bezeichnen, dass man weder

Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
60	25,75″	0,429″	0,724 m	1,688
61	28,13″	0,461″	0,712 m	1,545
65	32,67″	0,502″	0,668 m	1,331
67	36,05″	0,538″	0,648 m	1,205
69,5	40,05″	0,576″	0,625 m	1,085
77	46,55″	0,604″	0,564 m	0,934
85	55,95″	0,658″	0,511 m	0,776
85	56,87″	0,669″	0,511 m	0,764
94	70,25″	0,747″	0,462 m	0,619

Tabelle XXVI.

Versuche über die kürzeste Dauer, welche beim Gehen auf dem Ballen die Schritte bei vorgeschriebener Länge erhalten können.

43,43 Meter der durchgangene Raum.

Vorgeschriebene Schrittlänge	Schrittzahl	Zeit	Kürzeste Schrittdauer	Wahre Schrittlänge	Geschwindigkeit
0,830 m	53	16,27″	0,307″	0,819 m	2,668
	52	16,12″	0,310″	0,835 m	2,694
	52	16,27″	0,313″	0,835 m	2,668
0,760 m	56	17,30″	0,309″	0,776 m	2,511
	56,5	80,05″	0,320″	0,769 m	2,403
	56	17,67″	0,216″	0,776 m	2,456
	59	19,13″	0,324″	0,736 m	2,272
	58	17,88″	0,308″	0,749 m	2,432
0,700 m	59	18,55″	0,315″	0,736 m	2,337
	61	18,95″	0,311″	0,712 m	2,289
	61	19,22″	0,315″	0,712 m	2,260
	61	19,60″	0,321″	0,712 m	2,218
0,600 m	73	23,67″	0,324″	0,595 m	1,836
	68	22,45″	0,330″	0,639 m	1,936
	70	22,68″	0,324″	0,620 m	1,914
	71	22,88″	0,322″	0,612 m	1,901
0,500 m	84	27,72″	0,330″	0,517 m	1,567
	78	25,23″	0,324″	0,557 m	1,719
	83	26,60″	0,321″	0,523 m	1,629
0,400 m	103	32,72″	0,318″	0,422 m	1,327
	105	34,00″	0,324″	0,414 m	2,265

auf Grösse, noch Dauer der Schritte, und überhaupt so wenig wie möglich auf sich selbst und seine Bewegungen beim Gehen achte. Was beim Gehen auf der ganzen Fussfläche, weil man daran gewöhnt ist, sehr leicht wird, nämlich lange Zeit die Gedanken von der Bewegung des Körpers ganz abzulenken, hält beim Gehen auf dem Ballen viel schwerer, und man muss darin erst einige Uebung sich erwerben.

Tabelle XXVII.

Versuche über die längste Dauer, welche beim Gehen auf dem Ballen die Schritte bei vorgeschriebener Länge erhalten können.

43,43 Meter der durchgangene Raum.

Vorgeschriebene Schrittlänge	Schritt-zahl	Zeit	Längste Schrittdauer	Wahre Schrittlänge	Geschwin-digkeit
0,800 m	52	35,88″	0,690″	0,835 m	1,210
	53	37,03″	0,704″	0,820 m	1,165
	56	34,37″	0,614″	0,775 m	1,262
0,720 m	61	52,00″	0,852″	0,712 m	0,836
	61	53,90″	0,883″	0,712 m	0,806
	59	51,20″	0,867″	0,736 m	0,849
0,680 m	63	57,47″	0,912″	0,689 m	0,756
	63,5	59,80″	0,942″	0,684 m	0,726
	63,5	60,73″	0,956″	0,684 m	0,715
0,600 m	73	75,20″	1,030″	0,595 m	0,578
	72	73,78″	1,025″	0,603 m	0,588
	72,5	77,20″	1,065″	0,599 m	0,562
	71	74,42″	1,048″	0,612 m	0,584
0,520 m	82	97,65″	1,191″	0,529 m	0,444
	82	95,27″	1,162″	0,529 m	0,455
	84,5	97,40″	1,152″	0,514 m	0,446
0,430 m	101	128,27″	1,270″	0,430 m	0,339
	100	128,60″	1,286″	0,434 m	0,337

Wir sehen aus diesen Versuchen, so wie aus der sie bildlich darstellenden Fig. 25, dass ganz ähnliche Verhältnisse unter ihnen Statt finden, wie wir bei den Versuchen über das Gehen auf der ganzen Fussfläche beobachtet haben. Das Gehen auf dem Ballen unterscheidet sich aber von dem Gehen auf der ganzen Fussfläche dadurch, *dass der Fuss sich bei ersterem nur mit einem bedeutend kleineren Theile seiner Fläche am Boden abwickelt, und die Schrittlänge daher beim Gehen auf dem Ballen im Allgemeinen um das Stück der Fussfläche, welches sich nicht am Boden abwickelt, kürzer ausfällt.* Vergleichen wir nämlich die einander entsprechenden Reihen beider Gangweisen, z. B. die beiden natürlichsten, so sehen wir, wenn beide über derselben Abscissenlinie bildlich dargestellt werden, wie in Fig. 26 geschehen ist, dass sie nicht koincidiren, sondern dass die sie darstellenden Kurven fast parallel *neben einander* fortlaufen. Betrachten wir daher gleich hohe Punkte in beiden Reihen, so finden wir, dass ihr horizontaler Abstand (der Unterschied der Abscissen für gleiche Ordinaten) sich in der ganzen

Reihe fast gleich bleibt, und im Mittel 100 Millimeter beträgt (in der Figur 10 Millimeter), woraus hervorgeht, dass beim Gehen auf der ganzen Fussfläche die Schritte stets um dasjenige Stück der Fussfläche, welches sich hier mehr abwickelt, als beim Gehen auf dem Ballen, vergrössert, alle übrigen Verhältnisse aber dadurch nicht merklich geändert werden.

Ueber den Eillauf.

§ 111.

Wodurch das Laufen vom Gehen unterschieden wird.

Wir haben gesehen, dass der Gang des Menschen aus Schritten zusammengesetzt ist, die man selbst wieder in einen Zeitraum zerfällen kann, wo der Körper den Boden nur mit einem Beine, und in einen anderen Zeitraum, wo er ihn mit beiden berührt. Der Körper wird folglich beim Gehen fortwährend unterstützt. Dadurch wird es möglich, dass die Streckkraft des einen oder des anderen Beins, oder beider zugleich, *fortdauernd* der senkrecht wirkenden Schwerkraft und dem horizontal wirkenden Widerstande entgegenwirke, wodurch alle beim Gehen auf den Körper wirkenden Kräfte in's Gleichgewicht gebracht, und die Bewegung des Körpers in horizontaler Richtung gleichmässig werden kann. — Beim Laufen dagegen ist der Körper nicht immerfort unterstützt, sondern er erhebt sich periodisch über den Boden und schwebt kurze Zeit ganz frei in der Luft. Wie beim Gehen wechselt auch hier bei jedem Beine der Zustand, wo es stemmt, mit dem, wo es in der Luft schwebt, ab, und es folgen lauter gleich lange Zeiträume, die Schritte, auf einander, in welchen die Beine *abwechselnd* die nämlichen Bewegungen ausführen. Wie beim Gehen ist es auch hier der Zeitraum von zwei Schritten (von einem Doppelschritt), nach welchem *dasselbe* Bein die nämlichen Bewegungen immer wieder von Neuem beginnt. Aber beim Gehen wird der Körper immer von einem oder von beiden Beinen getragen, und der Zeitraum, wo ein Bein stemmt, ist daher sehr lang, länger als wo es schwebt: dieser Zeitraum ist dagegen beim Laufen sehr kurz, kürzer als derjenige, wo das Bein schwingt. Weil der Körper beim Laufen zwischen dem Auftreten des einen und anderen Beins, wie in die Höhe geworfen, kurze Zeit ganz in freier Luft schwebt, so kann man beim Laufen die Schritte auch *Sprünge* nennen, und jeden von ihnen in einen Zeitraum, wo der Körper von einem Beine unterstützt wird, und in einen Zeitraum, wo er schwebt, oder von keinem Beine unterstützt wird, zerfällen. Hieraus geht zugleich hervor, dass das Gesetz, nach welchem die Streckkraft die Fortbewegung beim Gehen bewirkt, beim Laufen keine Anwendung finden

könne, sondern eine wesentliche Abänderung erleiden müsse. Beim Gehen wurde die Streckkraft so viel wie möglich so moderirt, dass der senkrechte Theil der Streckkraft zwar die Schwere des Körpers jederzeit aufhob, ohne ihm aber eine steigende Bewegung mitzutheilen. Beim Laufen ist der Körper während eines Theiles jedes Sprunges gar nicht unterstützt, und es ist daher nichts vorhanden, was während dieser Zeit der Schwerkraft des Körpers entgegenwirke; folglich muss der Körper während dieses Zeitraums fallen. Damit nun aber bei den auf einander folgenden Sprüngen der Körper nicht immer tiefer herabsinke und endlich ganz zum Boden herabfalle, so muss er während des ersteren Zeitraums, wo er von einem Beine unterstützt ist, um eben so viel in die Höhe steigen, als er während des anderen Zeitraums, von der Schwere getrieben, herabfällt, damit er nicht unter die Horizontallinie herabsinke, von der er sich anfangs erhob. Die Streckkraft beim Laufen unterscheidet sich daher von der beim Gehen dadurch, dass sie nicht fortdauernd auf den Körper wirkt, sondern blos periodisch dem Körper eine Wurfbewegung ertheilt.

§ 112.

Wenn die Schritte beim Eillaufe dieselbe Länge erhalten, als die beim schnellsten Gehen, so ist ihre Dauer der der letzteren gleich, oder sie ist der Dauer einer halben Pendelschwingung des Beins gleich.

Um unter den verschiedenen möglichen Laufweisen ein dem schnellsten Gehen entsprechendes Glied zu erhalten, verlangsamten wir unseren Lauf, bis zum Durchlaufen der oben beschriebenen Bahn dieselbe Anzahl von Schritten erforderlich war, als beim schnellsten Gehen. Es wurde dabei, wie früher, die Zeit gemessen. Folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Tabelle XXVIII.

Ueber den Eillauf mit der Geschwindigkeit des schnellsten Gehens auf dem Ballen.

47 Meter der durchlaufene Weg.

	Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
	63	20,60″	0,327″	0,747 m	2,285
	62,5	20,42″	0,327″	0,752 m	2,300
	61	19,75″	0,324″	0,770 m	2,377
	62	20,03″	0,323″	0,758 m	2,347
	63	20,60″	0,327″	0,747 m	2,285
	61	19,75″	0,324″	0,770 m	2,377
Mittel	62,08	20,192″	0,325″	0,757 m	2,327

Vergleicht man diese Versuche mit den § 103 mitgetheilten Versuchen über das geschwindeste Gehen auf dem Ballen, so sieht man, dass für diesen besonderen Fall, wo die Sprünge beim Laufen gleiche Länge, wie die Schritte beim schnellsten Gehen haben, auch ihre Dauer mit der der letzteren übereinstimmt.

	Sprungweite oder Schrittlänge	Sprungdauer oder Schrittdauer	Geschwindigkeit
beim Laufen	0,757″	0,325 m	2,327
beim schnellsten Gehen	0,758″	0,323 m	2,347

Aus dieser grossen Uebereinstimmung dieser beiden Fälle des Gehens und Laufens mit einander, und beider rücksichtlich ihrer Schrittdauer mit der halben Schwingungsdauer des frei schwingenden Beins, schliessen wir, dass beim Laufen das aufgehobene Bein, eben so wie beim Gehen, nicht durch Muskelkraft, sondern blos durch seine Schwere getrieben, wie ein Pendel, vorwärts schwinge; ferner dass es, eben so wie beim schnellsten Gehen, auch nur eine halbe Schwingung mache, und gerade in demjenigen Augenblicke auf den Boden auftrete, wo es zur vertikalen Lage gelangt; endlich dass das andere Bein dagegen in dem nämlichen Augenblicke, wo jenes auf den Boden tritt, den Boden verlässt. Hieraus folgt aber, dass bei dem *Laufen mit der Geschwindigkeit des schnellsten Gehens* die Zeit, wo der Körper bei jedem Schritte in der Luft schwebe, Null ist, oder dass der Körper in diesem besonderen Falle nie zum Schweben kommt, so wie wir analoger Weise beim *schnellsten Gehen* bemerkt haben, dass beide Beine den Körper nie gleichzeitig unterstützten, oder die Zeit, wo der Körper bei jedem Schritte von beiden Beinen unterstützt wurde, Null war.

§ 113.

Bei schnellerem Laufen wird zwar der Schwingungsbogen oder die Elongationsweite des schwingenden Beins vergrössert, aber das Bein beschreibt immer einen gleichen Theil, nämlich die Hälfte vom ganzen Schwingungsbogen.

Wir haben bei Betrachtung des *langsamen Gangs* gesehen, dass eines Theils das schwingende Bein in kleineren Schwingungsbogen sich dreht, anderen Theils aber einen grösseren Theil als die Hälfte davon zurücklegt, bevor es auf den Boden tritt. Die Verlangsamung des Gehens war daher immer zweifach, eines Theils durch Verkleinerung der Schrittlänge, anderen Theils durch Vergrösserung der Schrittdauer hervorgebracht; und die letztere war selbst wieder zweifach, nämlich eines Theils durch längeres Aufstellen beider Beine zugleich, anderen Theils durch Zurücklegung eines grösseren Theils des Schwingungs-

bogens hervorgebracht. Beim Laufen wird dagegen von dem schwingenden Beine immer der nämliche Theil seines Schwingungsbogens, nämlich dessen Hälfte, zurückgelegt, wie schnell oder langsam man auch laufen möge. Wir wollen *zuerst* unsere zu verschiedenen Zeiten angestellten Versuche über das Laufen mit *verschiedener* Geschwindigkeit in folgenden Tabellen zusammenstellen, *sodann* betrachten, wie unsere Behauptung durch sie bestätigt werde.

Tabelle XXIX.

Ueber das Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit.

43,43 Meter der durchlaufene Raum.

	Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
	28	6,90″	0,247″	1,551 m	6,29
	26	6,62″	0,254″	1,670 m	6,56
	27	7,00″	0,259″	1,608 m	6,20
	28	7,75″	0,277″	1,551 m	5.60
	29	8,28″	0,285″	1,497 m	5,245
	31	8,80″	0,284″	1,401 m	4,93
Mittel[1])	28,17	7,56″	0,268″	1,542 m	5,745
	35	10,12″	0,289″	1,241 m	4,29
	33,5	9,88″	0,295″	1,293 m	4,40
	33	9,72″	0,295″	1,315 m	4,47
Mittel	33,83	9,91″	0,293″	1,284 m	4,383
	35	10,18″	0,291″	1,241 m	4,27
	37,5	11,28″	0,301″	1,158 m	3,85
	37,5	11,40″	0,304″	1,158 m	3,81
	35,5	10,73″	0,302″	1,223 m	4,05
	53,5	10,80″	0,304″	1,223 m	4,02
	34,5	10,40″	0,301″	1,259 m	4,17
Mittel	35,92	10,80″	0,301″	1,209 m	4,021
	38	11,87″	0,312″	1,143 m	3,66
	38,5	12,28″	0,319″	1,128 m	3,54
	38	11,83″	0,311″	1,143 m	3,67
Mittel	38,17	11,99″	0,314″	1,138 m	3,623
	42	13,10″	0,312″	1,034 m	3,315
	43	13,72″	3,319″	1,010 m	3,166
	43	13,98″	0,325″	1,010 m	3,106
Mittel	42,67	13,60″	0,319″	1,018 m	3,194

[1]) Die drei letzten Mittel sind aus den zwei ersten berechnet.

	Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
	45,5	14,42″	0,317″	0,954 m	3,012
	44	14,38″	0,327″	0,987 m	3,020
	45	14,62″	0,325″	0,970 m	2,971
	47	15,40″	0,328″	0,924 m	2,820
	47	15,48″	0,329″	0,924 m	2,806
	49	16,23″	0,331″	0,886 m	2,676
	48	15,68″	0,327″	0,905 m	2,770
Mittel	46,5	15,173″	0,326″	0,934 m	2,862
	52	16,40″	0,315″	0,835 m	2,648
	52,5	16,88″	0,322″	0,827 m	2,573
	53	16,77″	0,316″	0,819 m	2,590
	53,5	16,98″	0,317″	0,812 m	2,558
	54	17,05″	0,316″	0,804 m	2,547
	53	16,78″	0,317″	0,819 m	2,588
Mittel	53	16,81″	0,317″	0,819 m	2,584
	69	18,32″	0,305″	0,724 m	2,371
	60	18,23″	0,304″	0,724 m	2,382
	59	17,57″	0,298″	0,736 m	2,472
	58	17,70″	0,305″	0,749 m	2,454
	62	18,80″	0,303″	0,700 m	2,310
	63	19,12″	0,303″	0,689 m	2,271
	62	18,78″	0,303″	0,700 m	2,313
	60	18,30″	0,305″	0,724 m	2,373
Mittel	60,5	18,35″	0,303″	0,718 m	2,367
	74	22,50″	0,304″	0,587 m	1,930
	70	21,40″	0,306″	0,620 m	2,029
	72	21,62″	0,300″	0,600 m	2,009
	69	21,13″	0,306″	0,630 m	2,055
	71	21,75″	0,306″	0,610 m	1,997
Mittel	71,2	21,68″	0,304″	0,610 m	2,003
	88	26,75″	0,305″	0,494 m	1,624
	83	25,05″	0,302″	0,523 m	1,734
	81	24,72″	0,305″	0,536 m	1,757
	83	25,28″	0,305″	0,523 m	1,718
Mittel	83,75	25,45″	0,304″	0,519 m	1,706
	105	32,22″	0,307″	0,414 m	1,348
	105	31,82″	0,303″	0,414 m	1,365
	103	31,48″	0,304″	0,422 m	1,380
Mittel	104,33	31,84″	0,305″	0,416 m	1,364

	Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
	135	40,48″	0,299″	0,329 m	1,073
	135	41,10″	0,304″	0,329 m	1,057
	143	42,90″	0,300″	0,304 m	1,012
Mittel	137,7	41,49″	0,301″	0,315 m	1,047

Tabelle XXX.

Ueber das Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit.

43,43 Meter der durchlaufene Raum.

	Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
	47	15,07″	0,321″	0,924 m	2,882
	47	15,13″	0,322″	0,924 m	2,870
	49	15,87″	0,324″	0,886 m	2,737
	47	15,33″	0,326″	0,924 m	2,833
	48	15,28″	0,318″	0,905 m	2,842
Mittel	47,6	15,36″	0,323″	0,912 m	2,828
	54	17,42″	0,323″	0,804 m	2,493
	53	16,90″	0,319″	0,820 m	2,570
	54	17,18″	0,318″	0,804 m	2,528
	52,5	16,60″	0,316″	0,827 m	2,616
	55	17,40″	0,317″	0,790 m	2,496
Mittel	53,7	17,10″	0,318″	0,809 m	2,540
	60	19,20″	0,320″	0,724 m	2,262
	59	18,92″	0,321″	0,736 m	2,295
	63	20,17″	0,320″	0,690 m	2,153
	62	19,32″	0,312″	0,700 m	2,248
	62	19,37″	0,312″	0,700 m	2,242
	61	19,27″	0,316″	0,712 m	2,254
Mittel	61,17	19,375″	0,317″	0,710 m	2,242
	71	22,48″	0,317″	0,612 m	1,932
	71	22,48″	0,317″	0,612 m	1,932
	71	22,52″	0,317″	0,612 m	1,9285
Mittel	71	22,49″	0,317″	0,612 m	1,931
	84	26,60″	0,317″	0,517 m	1,633
	85	26,97″	0,317″	0,511 m	1,610
	81,5	25,77″	0,316″	0,533 m	1,685
Mittel	83,5	26,445″	0,317″	0,520 m	1,642

Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
106	33,12″	0,312″	0,410 m	1,311
92	28,72″	0,312″	0,472 m	1,512
105	33,03″	0,314″	0,414 m	1,315
Mittel 101	31,62″	0,313″	0,430 m	1,374
138	43,02″	0,312″	0,315 m	1,009
131	40,47″	0,309″	0,331 m	1,073
150	46,40″	0,309″	0,290 m	0,936
Mittel 139,7	43,297″	0,310″	0,311 m	1,003

Tabelle XXXI.

Ueber das Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit.

43,43 Meter der durchlaufene Raum.

Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
27	7,00″	0,259″	1,609 m	6,204
26	6,88″	0,264″	1,670 m	6,312
25	6,42″	0,257″	1,737 m	6,765
25	6,12″	0,245″	1,737 m	7,097
26	6,90″	0,265″	1,670 m	6,294
27	7,23″	0,268″	1,609 m	6,007
26	7,10″	0,277″	1,670 m	6,117
Mittel 26	6,807″	0,262″	1,670 m	6,380
31	8,43″	0,272″	1,401 m	5,152
29	8,00″	0,276″	1,498 m	5,429
30	8,35″	0,278″	1,448 m	5,201
Mittel 30	8,26″	0,275″	1,448 m	5,258
31	8,50″	0,271″	1,401 m	5,109
32	8,97″	0,280″	1,360 m	4,842
33	9,50″	0,270″	1,316 m	4,572
Mittel 32	8,99″	0,281″	1,357 m	4,831
34,5	10,08″	0,304″	1,260 m	4,308
34	10,00″	0,294″	1,277 m	4,343
Mittel 34,25	10,04″	0,293″	1,268 m	4,326
39	11,48″	0,294″	1,113 m	3,783
38	11,40″	0,305″	1,143 m	3,810
Mittel 38,5	11,44″	0,297″	1,128 m	3,796

	Schrittzahl	Zeit	Schrittdauer	Schrittlänge	Geschwindigkeit
	42	12,83″	0,305″	1,034 m	3,385
	41	12,68″	0,309″	1,059 m	3,425
Mittel	41,5	12,755″	0,307″	1,046 m	3,404
	45	13,88″	0,309″	0,965 m	3,129
	45,5	14,40″	0,321″	0,952 m	3,016
Mittel	45,25	14,14″	0,313″	0,960 m	3,072
	46	13,63″	0,296″	0,944 m	3,186
	51	15,58″	0,305″	0,852 m	2,787
	51	15,50″	0,304″	0,852 m	2,802
	48	14,60″	0,304″	0,904 m	2,975
	50	15,12″	0,302″	0,868 m	2,872
Mittel	49,2	14,89″	0,303″	0,883 m	2,917
	55	16,80″	0,306″	0,790 m	2,585
	60	19,98″	0,333″	0,724 m	2,174
	57	17,42″	0,306″	0,762 m	2,493
Mittel	57,33	18,07″	0,315″	0,758 m	2,404

Aus allen diesen Versuchen geht hervor, dass, während die Schrittlänge beim Laufen sehr gross werden kann, die Schrittdauer sich nur wenig ändere, sondern immer der Dauer einer halben Pendelschwingung nahe gleich sei; denn der grösste gefundene Unterschied ist

die Sprungdauer = 0,2618 } Unterschied 0,0612
die Dauer einer halben Pendelschwingung = 0,323 }

Diese geringen Verschiedenheiten in der Schrittdauer beim Laufen sind aber gerade so gross, als sie sein müssen, wenn wir in Betracht ziehen, dass beim Laufen beide Beine eine kurze Zeit zugleich schwingen, wie wir gleich näher sehen werden, und, dies vorausgesetzt, beweisen die obigen Versuche, dass beim langsamsten Laufen eben so wie beim schnellsten, jedes Bein, während es schwebt, eine halbe Pendelschwingung mache, und dann senkrecht aufgesetzt werde.

§ 114.

Die Abweichungen, welche die Sprungdauer bei sehr langsamem und bei sehr schnellem Laufe zeigt, rühren daher, dass bei langsamem und schnellem Laufen jedes Bein längere Zeit schwebt, als steht.

Wir haben durch frühere Versuche die halbe Dauer einer Pendelschwingung des Beins = 0,346″ gefunden. Aus den Versuchen über das Gehen auf dem Ballen ergab sie sich, wegen der dabei eintretenden Zusammenziehung des Beins, etwas geringer, nämlich = 0,323″, und damit stimmen die § 112 mitgetheilten Versuche über das Laufen

überein, was dem schnellsten Gehen entspricht. Wir bemerken nun, dass in den vorhergehenden Versuchsreihen die Sprungdauer nie grösser sei, als jene Dauer der halben Pendelschwingung, dass sie bei langsameren Laufweisen nur wenig kleiner, merklich kleiner aber bei den schnellsten Laufweisen sei. Rührte diese Differenz davon her, dass das schwebende Bein, ehe es die Hälfte der Schwingungsbogen zurückgelegt habe, folglich ehe es zur senkrechten Lage gekommen, auf den Boden trete, so würde beim Laufen nie ein Bein den Körper senkrecht unterstützen, wo es den senkrechten Fall des Körpers mit dem geringsten Kraftaufwande hemmen kann. Dies ist aber nicht der Fall, sondern jene Differenz rührt von der Zeitersparniss her, welche dadurch herbeigeführt wird, dass bei sehr langsamem und bei sehr schnellem Laufen der Körper eine namhafte Zeit in der Luft schwebt, in welcher Zeit *beide Beine sich gleichzeitig* in Schwingung befinden. Die Zeiträume, wo das eine und wo das andere Bein schwingt, decken sich also zum Teil; wenn man daher die ganze Zeit des Laufens mit der Zahl der Schwingungen (= der Zahl der Schritte) dividirt, muss der Quotient (= der Sprungdauer) kleiner hervorgehen als die Zeit ist, während ein Bein schwingt (= der halben Dauer einer Pendelschwingung), wie es von uns wirklich beobachtet worden ist.

Wir haben durch ähnliche Versuche, wie wir § 107 über das Gehen mitgetheilt haben, die Dauer des Auftretens zu messen versucht, doch ist sie für eine genaue Bestimmung zu klein. Wir fanden aus einer Reihe solcher Versuche im Mittel

die Schrittlänge . . . = 1,000 m
die Schrittdauer . . . = 0,290″,
die Dauer des Auftretens = 0,230″.

Diese Dauer des Auftretens ist, wie wir glauben, durch diese Versuche etwas zu klein gefunden worden, doch kann der Fehler der Messung nicht so viel betragen, dass sie der Schrittdauer gleich würde.

§ 115.

Die Reihe der zusammengehörigen Schrittdauern und Schrittlängen des natürlichen Ganges, nach letzteren geordnet, fällt an ihrem Ende mit der Mitte der Reihe der zusammengehörigen Sprungdauern und Sprunglängen des Laufes, gleichfalls nach letzteren geordnet, zusammen, und dieser Koincidenzpunkt ist zugleich das Maximum der Schrittdauer beim Laufen, von dem aus die Schrittdauer sowohl für grössere als kleinere Schrittlängen kleiner wird; und zugleich ist derselbe Punkt das Minimum der Schrittdauern beim Gehen, von dem aus die Schrittdauer grösser wird für kleinere Schrittlängen und über den hinaus der natürliche Gang nicht möglich ist.

Um das Gesetz, nach welchem sich das Verhältniss der Schrittlänge und Schrittdauer beim Laufen ändere, anschaulich zu machen

und leichter zu übersehen, haben wir Fig. 26 auf ähnliche Weise wie beim Gehen die Schrittlänge zehn Mal verkleinert auf einer Linie als Abscissen und senkrecht auf ihre Endpunkte die zugehörigen Schrittdauern als Ordinaten (die Sekunde durch $\frac{1}{10}$ Meter dargestellt) senkrecht aufgetragen. Die Endpunkte der letzteren sind Punkte einer Kurve, welche das Gesetz, wie Schrittlänge und Schrittdauer sich gleichzeitig ändern, darstellt, von der wir durch Verbindung aller Endpunkte eine hinreichend genaue Ansicht erhalten. Wir bemerken bei dieser Kurve, dass sie überall nur wenig von der Richtung der Abscissenlinie abweicht, und sich nur wenig von derjenigen punktirten Linie entfernt, die von der Abscissenlinie überall um 0,0323 Meter absteht, welcher Abstand das Maass der halben Dauer einer Pendelschwingung des Beins ist. In der Mitte *m* berührt die Kurve diese Linie, und weicht von diesem Berührungspunkte aus auf beiden Seiten etwas nach unten ab. Es erreicht also die Schrittdauer in diesem Punkte ein Maximum. Trägt man nach denselben Koordinaten auch die früher mitgetheilten Schrittlängen und Schrittdauern auf, wie sie beim natürlichen Gange zusammengehören, so erhält man Punkte einer zweiten Kurve, die bei *m* mit der ersteren Kurve zusammenfällt und sich daselbst endigt, rückwärts aber sich zugleich von der ersteren Kurve sowohl als von der Abscissenlinie schnell entfernt.

§ 116.

Die Hebung des hinteren Fusses wird beim Laufen wie beim Gehen durch eine Beugung des Knies bewirkt, während der Fuss und die Zehen ausgestreckt bleiben. Diese Hebung beträgt beim Laufen viel mehr noch als beim Gehen.

Aehnliche Versuche, wie § 98 über die Hebung der Füsse beim Gehen enthält, haben wir auch beim Laufen gemacht, und es hat sich nicht blos ergeben, dass diese Hebung auf dieselbe Weise durch Beugung des Knies geschehe, sondern auch, dass sie beim Laufen mit der Schnelligkeit des Laufens rasch wachse, und immer viel grösser als beim Gehen sei, wie folgende Tabelle beweist.

Tabelle XXXII.

Ueber die Hebung der Füsse beim Laufen.

30 Meter der durchlaufene Raum.

Schrittzahl	Zeit	Hebung der Ferse	Hebung der Fussspitze	Geschwindigkeit
28	7,9	0,300	0,187	3,91
24	6,5	0,375	0,257	4,92

§ 117.

Der Rumpf macht beim Laufen geringere vertikale Schwankungen als beim Gehen.

Wir haben schon beim Gehen nachgewiesen, dass die vertikalen Schwankungen des Rumpfes sehr klein waren: sie betrugen nicht über 16 Millimeter vom Mittel. Noch kleiner haben wir diese vertikalen Schwankungen des Rumpfes beim Laufen gefunden, sie betragen da selten vom Mittel über 10 Millimeter. Diese Beobachtung scheint dem ersten Anblick nach mit dem zu streiten, was wir als Hauptunterschied des Gehens und Laufens kennen gelernt haben, dass nämlich beim Gehen der Rumpf stets wenigstens von einem Beine unterstützt und am Fallen gehindert werde; dass dagegen beim Laufen, während ein Bein stemmt, der Rumpf aufwärts steige, und während beide Beine schweben, wieder herabfalle, wodurch eine sehr grosse vertikale Schwankung des Rumpfes entstehen zn müssen scheint. Eine genauere Betrachtung der Zeit lehrt aber das Gegentheil. Schon die ganze Zeit eines Schrittes ist beim Laufen sehr klein und beträgt nur 0,26″ bis 0,32″. Höchstens ein Drittel dieser Zeit schwebt aber der Körper in der Luft, d. i. höchstens 0,1″. In dieser Zeit fällt aber der Rumpf nicht blos, sondern anfangs steigt er sogar und fällt erst, nachdem er seine grösste Höhe erreicht hat, höchstens $\frac{1}{15}$ Sekunde lang, woraus sich die Fallhöhe höchstens zu 21,8 Millimeter ergiebt, was mit unserer Beobachtung übereinkommt.

§ 118.

Das hintere Bein wird beim schnellen Laufen noch mehr als beim schnellen Gehen gestreckt.

Auf ähnliche Weise, wie im § 96 die Länge des gestreckten Beins beim Gehen mit verschiedener Geschwindigkeit gemessen worden ist, haben wir auch beim Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit diese Länge gemessen, nämlich mit Hülfe eines Fadens, der an dem vorderen Sohlenrande des Schuhes befestigt und von da bis zum *trochanter major* geführt und daselbst mit zwei Fingern mässig gespannt erhalten wurde. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Tabelle XXXIII.

Messung der Streckung des hinteren Beins beim Laufen mit verschiedener Geschwindigkeit.

17 Meter Länge des Weges.

No.	Schrittlänge	Schrittdauer	Beinlänge	Geschwindigkeit
1.	1,062 m	0,305″	0,970 m	3,48
2.	1,062 m	0,306″	0,960 m	3,47
3.	1,062 m	0,304″	0,981 m	3,49
4.	1,133 m	0,302″	0,978 m	3,75
5.	1,133 m	0,308″	0,975 m	3,68

No.	Schrittlänge	Schrittdauer	Beinlänge	Geschwindigkeit
6.	1,214 m	0,300″	0,995 m	4,05
7.	1,417 m	0,282″	0,992 m	5,03
8.	1,417 m	0,290″	0,995 m	4,88
9.	1,417 m	0,275″	0,990 m	5,15

Vergleicht man diese Messungen mit den § 96, Tabelle XII, über das Gehen angestellten, so ergiebt sich, dass die Streckung des hinteren Beins, dessen Länge gemessen wurde, beim schnellen Laufen die beim schnellen Gehen noch etwa um 30 bis 40 Millimeter übertrifft, und aus der Vergleichung mit den § 95, Tabelle XI, gegebenen Messungen sieht man, dass diese Länge des Beins beim schnellsten Laufe selbst um 10 bis 15 Millimeter noch grösser ist, als die Länge, welche man in der Ruhe bei der grössten Anspannung der Streckmuskeln dem am Rumpfe frei herabhängenden Beine zu geben vermag. Die heftige Bewegung des Rumpfes beim Laufen scheint in dem Augenblicke, wo das Bein von ihm vom Boden fortgerissen wird, zur Verlängerung des schon gestreckten Beins noch etwas beizutragen.

§ 119.

Die grösste Geschwindigkeit beim Laufen beträgt etwa $5\frac{1}{2}$ Meter in 1 Sekunde, oder eine deutsche Meile in 20 Minuten.

Dürfte man beim Laufen mit den Beinen beliebig stark gegen den Boden stemmen, so würde blos die Kraft unserer Muskeln der Geschwindigkeit des Laufens eine Grenze setzen, und diese Grenze würde bei verschiedenen Menschen zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden sein. Eine so grosse Verschiedenheit findet aber wenigstens zwischen denen, die des Laufens nicht ganz ungewohnt sind, nicht Statt. Es leuchtet nämlich ein, dass, wenn man beim Laufen mit den Beinen sehr stark gegen den Boden stemmte, man den Rumpf nicht blos schnell vorwärts, sondern auch hoch in die Höhe bewegen würde, der dann lange fallen müsste, ehe er wieder herabkäme, länger als die vorgeschriebene Dauer der Schritte es gestattet. Man sieht also, dass durch die Natur der Sache auch der Geschwindigkeit des Laufes eine Grenze gesetzt ist, der wir in den folgenden Versuchen gewiss sehr nahe gekommen sind.

Tabelle XXXIV.

Ueber die grösste Geschwindigkeit des Laufens.

43,43 Meter der durchlaufene Raum.

Schrittzahl	Zeit	Schrittlänge	Schrittdauer	Geschwindigkeit
26	6,60	1,786 m	0,254″	6,58
27	6,60	1,720 m	0,244″	6,58
26,5	6,52	1,753 m	0,247″	6,66
28	6,68	1,658 m	0,239″	6,50
27	6,83	1,720 m	0,253″	6,36

Bei dieser Grenze des natürlichen Laufes, wie er noch ohne Anwendung widernatürlicher Kunstmittel möglich ist, beträgt die Schrittdauer fast $\frac{3}{4}$ von der Schrittdauer beim schnellsten Gehen, während die Schrittlänge fast zwei Mal so gross ist, woraus sich ergiebt, dass die Geschwindigkeit beim Laufen nahe drei Mal so gross als beim Gehen sein könne.

Ueber den Sprunglauf.

§ 120.

Die Schrittdauer ist viel grösser als beim Eillaufe, aber kleiner als beim langsamen Gehen. Die Schrittlänge ist immer grösser als beim schnellsten Gehen und kann selber grösser sein als beim schnellsten Laufen, wozu aber erfordert wird, dass die Streckmuskeln mit der grössten Kraft, aber nur einen Augenblick lang bei jedem Schritte, wirken.

Alle Versuche, die wir bisher über das Laufen mitgetheilt haben, beziehen sich auf den Eillauf (siehe §§ 28—34). Wir haben endlich auch noch eine Reihe von Versuchen über den Sprunglauf (siehe §§ 35—40) gemacht, die wir hier zusammenstellen wollen. Bei Anstellung dieser Versuche verfuhren wir so, dass wir erst eine Strecke Weges im Eillaufe zurücklegten, und dann an einer im Voraus bezeichneten Stelle in den Sprunglauf übergingen, weil er bequemer auszuführen ist, wenn der Körper schon eine grosse Geschwindigkeit erhalten hat, die schwerer zu erreichen ist, wenn man von Anfang an springend laufen will. Auch ist dieses Verfahren deswegen vortheilhaft, weil durch länger fortgesetzten Eillauf das Athmen erschwert wird, und der Sprunglauf alsdann zur Erleichterung dient, indem er die Lunge weniger afficirt, weil die Schritte nicht so schnell, wie beim Eillaufe, auf einander folgen. Wollte man springend zu laufen beginnen, wo das Athmen noch leicht geschieht, so würde man sehr geneigt sein, aus dem ungewohnteren Sprunglauf in den gewohnteren Eillauf überzugehen, was nicht so leicht geschieht, wenn durch den vorausgegangenen Eillauf das Athmen schon schwerer geworden ist. Uebrigens mussten diese Versuche im Freien gemacht werden, weil ein viel grösserer Raum dazu erfordert wurde.

Bei dieser Art des Laufens macht der Körper, wie sich leicht beobachten lässt, viel grössere Vertikalschwankungen, als beim Eillaufe, und dies hat wieder zur Folge, dass das stemmende Bein von dem Augenblicke an, wo es vertikal steht, nur kurze Zeit mit dem Fussboden in Berührung bleibt. Denn das Bein muss von dem Augenblicke an, wo es vertikal steht, sehr schnell gestreckt werden, weil der Rumpf

von da an ausser seiner grossen horizontalen Geschwindigkeit auch eine schnelle Bewegung aufwärts erhält, und sich daher von dem Fusspunkte des stemmenden Beins bald so weit entfernt, dass die Länge des Beins nicht zureicht, den Abstand zwischen beiden auszufüllen. Dieses findet um so mehr Statt, da der Rumpf bei dieser Art zu laufen höher getragen wird, als beim Eillaufe, und folglich auch der Schenkelkopf des stemmenden Beins in dem Augenblicke, wo es vertikal steht, vom Fussboden weiter, als beim Eillaufe absteht. Die Zeit, welche von der vertikalen Stellung des Beins bis zu dem Augenblicke, wo das Bein vom Boden gehoben wird, verfliesst, ist daher sehr kurz. Sodann braucht das vom Boden gehobene Bein auch nicht ganz die doppelte Zeit zu einer ganzen Schwingung, welche es beim Sprunglaufe machen muss, ehe es wieder niedergesetzt wird (siehe § 37), als beim Eillaufe zu einer halben Schwingung (siehe § 113), weil es im Augenblicke, wo es aufgehoben wird, weniger von seiner vertikalen Lage entfernt ist und daher in einem kleineren Bogen schwingt, als beim Eillaufe, dabei aber doch eben so, wie bei letzterem während des Schwingens sehr eingezogen oder verkürzt wird. Daher kommt es, dass die Dauer der Schritte bei dieser Art des Laufens nicht so gross ist, als ausserdem erwartet werden könnte. Sie ist zwar beträchtlich länger als beim Eillaufe, und es findet in dieser Beziehung gar kein Uebergang vom Sprunglaufe in den Eillauf Statt (weil die kürzeste Schrittdauer bei jenem noch immer beträchtlich von der längsten Schrittdauer bei diesem differirt); sie ist aber doch kleiner, als beim langsamen Gehen.

Die Grösse der Schritte übertrifft fast immer die beim schnellsten Gehen und kann grösser gemacht werden, als beim schnellsten Laufen. In letzterem Falle wird aber ein sehr grosser Aufwand von Muskelkraft, und zwar auf ganz kurze Augenblicke konzentrirt, erfordert. Die Stemmkraft des Beins wird nämlich beim Sprunglaufe auf einen sehr kleinen Theil der Schrittdauer beschränkt, nämlich auf denjenigen, der mit dem Augenblicke, wo das stemmende Bein vertikal steht, beginnt, und mit der Aufhebung des Beins vom Boden endigt. In diesem, wie wir schon erwähnt haben, beim Sprunglaufe sehr kurzen Zeitraume muss die Stemmkraft des Beins in vertikaler Richtung dieselbe Wirkung hervorbringen, als die Schwere des ganzen Körpers während der Dauer eines ganzen Schrittes. Hierzu kommt, dass jener Zeitraum mit der Grösse der Sprünge sehr schnell abnimmt, während die ganze Schrittdauer verhältnissmässig sehr langsam abnimmt. Daher kommt es, dass bei grossen Sprüngen die Streckmuskeln fast nur momentan, aber dann sehr intensiv wirken müssen.

Wir haben durch unsere Versuche folgende Resultate über die Schrittlänge und Schrittdauer beim Sprunglaufe erhalten.

Tabelle XXXV.

Ueber die Schrittlänge und Schrittdauer beim Sprunglaufe mit verschiedener Geschwindigkeit.

Schrittlänge	Schrittdauer	Geschwindigkeit
1,243 m	0,460″	2,702
1,578 m	0,468″	3,372
1,688 m	0,455″	3,710
1,809 m	0,411″	4,402
1,977 m	0,404″	4,894

Andere Reihen von Versuchen, die wir eben so angestellt haben, führten zu ähnlichen Resultaten wie diese. Es liegt in der Natur der Sache, dass man die Versuche über den Sprunglauf weniger vervielfältigen kann, als die über den Eillauf und über das Gehen. Weil nämlich die Bewegung beim Sprunglaufe von einer sehr kurzen und sehr intensiven Muskelanstrengung abhängt, die leicht etwas zu gross oder zu klein werden kann, so hält es schwer, Reihen von Versuchen über den Sprunglauf zu machen, welche dieselbe Regelmässigkeit, wie die über den Eillauf oder über das Gehen gemachten Versuche zeigten.

Zweiter Abschnitt.

Begründung einer Theorie des Gehens und Laufens.

§ 121.

Ideen zu einer Theorie des Gehens und Laufens.

Es ist bekannt, in welchem Verhältnisse bei einer Pendeluhr die fallende Bewegung des Gewichts und die schwingende Bewegung des Pendels zu einander stehen: dass nämlich die Geschwindigkeit jener Bewegung immer zunehmen würde, wenn sie nicht während jeder Pendelschwingung einmal gehemmt würde; dass dagegen die Grösse der Pendelschwingungen abnehmen würde, wenn nicht das Pendel bei Hemmung des Gewichts jedes Mal einen neuen Anstoss erhielte, der jene Abnahme kompensirte. So wechselseitig wirkend regulirt die eine Bewegung die andere, und es resultirt daraus der gleichmässige Fortgang der Uhr.

Ein ähnliches Verhältniss scheint auch in den Organen des menschlichen Körpers, welche zum Gehen und Laufen dienen, Statt finden zu müssen, welches eine regelmässige Fortdauer des Gehens und Laufens selbst dann möglich macht, wenn die Aufmerksamkeit des Gängers oder

Läufers nicht stetig auf deren Erhaltung gerichtet ist, wie es die Erfahrung lehrt, und es ist wichtig, zur Erkennung der Zweckmässigkeit dieser Organe, dieses Verhältniss in ein klares Licht zu setzen.

Die vorwärts treibende Kraft beim Gehen und Laufen rührt von dem schief gegen den Boden gestemmten, sich streckenden (d. i. sich verlängernden) Beine her, und die daraus hervorgehende Bewegung des Körpers müsste an Geschwindigkeit zunehmen, wenn nicht bald das andere Bein, von hinten nach vorn schwingend, auf den Boden aufträte, und das bisher stemmende hintere Bein aufhübe, worauf denn das vordere Bein sich auszustrecken, das hintere dagegen von hinten nach vorn zu schwingen beginnt u. s. w. Das stemmende Bein kann daher als Stellvertreter des treibenden Gewichts, das schwingende Bein als Stellvertreter des Pendels angesehen werden. Beide tauschen ihre Dienste am Ende jedes Schrittes.

Prüft man dieses Verhältniss zwischen dem stemmenden und schwingenden Beine genauer, so ergiebt sich, dass es von ganz anderen Bedingungen abhängt, als das ihm ähnliche Verhältniss zwischen dem treibenden Gewichte und dem schwingenden Pendel einer Uhr, und dass die Aehnlichkeit der beiden Verhältnisse die Folge von ganz verschiedenen Einrichtungen ist. Der Mechanismus der Gehwerkzeuge bedarf daher eines eigenen Studiums, um die Bedingungen genauer anzugeben und näher zu bestimmen, von denen das regelrechte Gehen und Laufen abhängt.

Die *erste* Bedingung, von welcher das regelrechte Gehen abhängt, bezieht sich auf die Grösse der treibenden Kraft, d. i. der Streckkraft des stemmenden Beins. Diese Kraft ist nicht durch ein Naturgesetz gegeben, wie die Kraft des Gewichts der Uhr durch das Gesetz der indifferenten und stets gleichen Massenanziehung, sondern durch den Zweck, den der Gehende stets im Auge hat, den Obertheil des Körpers in gleicher Entfernung vom Fussboden zu erhalten. Wirklich beobachtet man, dass die oberen Endpunkte der Beine, wie auch die Lage der Beine sei, bei horizontalem Wege sich horizontal fortbewegen, höchtens mit Ausnahme des Augenblicks vor dem Auftreten des schwingenden Beins, wo der Obertheil des Körpers ohne Nachtheil etwas fallen kann, weil das auftretende Bein, indem es zur senkrechten Lage kommt, ihn ohne störenden Einfluss auf die horizontale Fortbewegung sogleich wieder zur früheren Höhe zurückführen kann. *Die Kraft des stemmenden Beins* ist daher sowohl der Absicht des Gehenden, als auch der über den regelrechten Gang gemachten Erfahrung gemäss in dem grösseren Theile des Schritts bei allen Lagen des Beins *gerade so gross, dass der Obertheil des Körpers dadurch am Fallen gehindert wird.* Darauf fällt er zwar einen Augenblick, steigt aber nach dem Auftreten des vorderen

Beins in dem Augenblicke, wo dieses Bein zur senkrechten Lage kommt, eben so viel wieder in die Höhe. Ohne Erfüllung dieser Bedingung würde kein regelrechter Gang zu Stande kommen; durch deren Erfüllung aber wird die Grösse der treibenden Kraft für alle Augenblicke des grösseren Theils jedes Schrittes bestimmt, weil, wenn der vertikale Theil der Streckkraft des Beins und die Lage des Beins gegeben ist, der horizontale Theil dieser Streckkraft berechnet werden kann.

Die *zweite* Bedingung, von welcher der regelrechte Gang abhängt, bezieht sich auf den Schwingungsanfang desjenigen Beins, das nach vollbrachter Schwingung auftreten und das unterdessen stemmende hintere Bein aufheben soll. Dieser Schwingungsanfang ist *derjenige Augenblick, wo dieses Bein hinten vom Boden erhoben wird.* Die Erfahrung lehrt, dass dieser Augenblick *der nämliche ist, wo das andere Bein vertikal steht.* Aus der Natur der Sache ergiebt sich, dass, wenn auch der Obertheil des Körpers in diesem Augenblicke seiner einen Stütze durch Aufhebung des hinteren Beines beraubt wird, die Gefahr, das Gleichgewicht zu verlieren, dann doch am geringsten ist, weil bei der vertikalen Stellung des anderen Beins die geringste Abweichung von der Gleichgewichtslage, nach welcher Seite zu es sei, sich am leichtesten verhindern lässt. Das hintere Bein wird übrigens in diesem Augenblicke ganz von selbst gehoben, weil der Obertheil des Körpers, der zuletzt etwas herabgesunken war, in diesem Augenblicke vom senkrechten Beine (ohne Störung der horizontalen Bewegung des Körpers) gehoben und zu seiner ursprünglichen Höhe zurückgeführt wird. Der Obertheil des Körpers zieht aber bei dieser Hebung das nach hinten ausgestreckte Bein mit nach, und hebt es vom Boden.

Die *dritte* Bedingung endlich, von deren Erfüllung der regelrechte Gang abhängt, bezieht sich auf die Grösse des Bogens, den das schwingende Bein zurücklegt, ehe es auftritt. Die Erfahrung lehrt, dass dieser Bogen bei verschieden schnellem Gange verschieden ist. Er kann nicht grösser sein, als der ganze Schwingungsbogen, in welchem das Bein, als Pendel schwingend, sich hin und her bewegen würde, und ist nie kleiner, als die Hälfte davon. Zur näheren Bestimmung dieses Bogens in jedem einzelnen Falle giebt uns die Erfahrung das Gesetz, *dass das diesem Bogen entsprechende Wegstück kleiner ist, als ein Doppelschritt, und zwar gerade um so viel, als der Rumpf in der Zeit, wo das Bein jenen Bogen zurücklegt, weiter rückt.* Es folgt dies unmittelbar aus der Thatsache, dass der Abstand des Punktes, wo das schwingende Bein auftritt, von dem Punkte, wo es den Boden verliess, einem Doppelschritte gleich ist.

Die menschlichen Gehwerkzeuge haben eine solche Einrichtung erhalten, dass sich diese drei Bedingungen immer erfüllen lassen, und daraus

ergiebt sich der ganze Hergang beim regelrechten Gange, mit Ausnahme, dass der Natur der Sache nach durch einen verschiedenen Widerstand, den der Körper beim Gehen *von aussen* erleidet, eine Abänderung hervorgebracht werden muss, die keiner allgemeinen Regel unterworfen werden zu können scheint. Jedoch lässt sich auch diese Ungewissheit durch eine genauere Prüfung *des Mittels, durch welches der Gehende äusseren störenden Einflüssen entgegenwirken und das Gehen von diesen Zufälligkeiten unabhängig machen könne,* beseitigen. Die Maschine nämlich, die uns zum Gehen dient, hat eine solche Einrichtung erhalten, dass zu ihrer *horizontalen Fortbewegung* ein bestimmter äusserer Widerstand erfordert wird. Und zwar ergiebt sich aus der Gestalt und Grösse ihrer einzelnen Teile, dass dieser zur ganz horizontalen Fortbewegung erforderliche Widerstand grösser ist, als derjenige, welchen der Körper gewöhnlich beim Gehen findet (die Beine müssten ein grösseres Gewicht haben, wenn der zur ganz horizontalen Bewegung erforderliche Widerstand dem gewöhnlich vorhandenen Widerstande gleich sein sollte). Um diesen Mangel am äusseren Widerstande gewöhnlich zu ersetzen, muss der Gehende bei jedem Schritte den Rumpf in demjenigen Augenblicke, wo das stemmende Bein ihn am meisten horizontal beschleunigen würde, fallen lassen und ihn dann, wenn das Bein wegen seiner vertikalen Stellung den Rumpf gar nicht horizontal bewegen kann, wieder um eben so viel heben, d. i. er muss die vorwärts treibende Kraft des sich streckenden Beins um so viel vermindern, als am Widerstande mangelt. Dies wird weniger bei grossem, mehr bei geringem äusseren Widerstande der Fall sein müssen. Wirklich lehrt die Erfahrung, dass die vertikalen Schwankungen des Gehenden bei widrigem Winde geringer sind. Diese vertikalen Schwankungen sind innerhalb gewisser Grenzen an sich willkürlich; doch hängt innerhalb dieser Grenzen unter sonst gleichen Verhältnissen die Schrittlänge von ihnen ab, von der man meist wünschen wird, dass sie möglichst gross sei.

Hiernach lassen sich nun die Bewegungen der beiden Beine beim Gehen vollständig bestimmen, jedoch immer nur unter der Voraussetzung, dass der Mensch seine Muskelkraft möglichst sparsam verwende. In der Ausführung dieser Theorie haben wir uns einige Vereinfachungen der Rechnung gestattet, jedoch nur solche, welche näherungsweise zu denselben Resultaten, wie eine streng und allgemein durchgeführte Rechnung, führen müssen, was zur Rechtfertigung jener Prinzipien und zu den vor der Hand möglichen Anwendungen auszureichen schien. Wir haben auf diese Weise gefunden, dass für, dem menschlichen Körper angemessene, Werthe der Schwingungsdauer, der Länge und des Gewichts der Beine, *beim schnellsten Gehen*

die Schrittdauer nahe $= 0{,}360\,81''$,
die Schrittlänge $= 0{,}791\,0$ m

sein müsse, und dass, wenn *durch Verlangsamung des Gehens*

die Schrittdauer um $0{,}01''$ zunehme,
die Schrittlänge um 0,00574 abnehmen müsse,

was alles mit der Erfahrung sehr gut übereinstimmt. Insbesondere stellt sich das Gesetz für das natürliche Gehen (siehe § 106), wonach bei zunehmender Schrittdauer die Schrittlänge abnimmt, dadurch ganz erfahrungsgemäss dar, so wie auch die Gesetze über die Grenzen der Schrittdauer, der Schrittlänge und der Geschwindigkeit beim Gehen, wie sie §§ 93, und 101—104, erfahrungsmässig ermittelt worden sind.

Eben so, wie für das Gehen, ergeben sich auch für das Laufen, sowohl für den Eillauf, als auch für den Sprunglauf (siehe §§ 28—40), bestimmte Gesetze aus der Einrichtung der menschlichen Gehwerkzeuge, sobald die wesentlichen Unterschiede zwischen diesen verschiedenen Klassen von Bewegungen scharf und vollständig festgesetzt worden sind, wie wir das schon §§ 28—40 zu thun versucht haben. Auch diese Theorien haben wir mit einigen Vereinfachungen der Rechnung so weit näherungsweise auszuführen versucht, dass ihre Resultate mit der Erfahrung verglichen werden konnten.

Ist man zu diesen Gesetzen gelangt, so können sie zu einer dreifachen Prüfung und Anwendung gebracht werden, die als Ziel und Zweck dieser Theorie betrachtet werden können.

Erstens können diese Gesetze mit den Messungen der Schrittdauer, Schrittlänge u. s. w. verglichen werden.

Zweitens kann die Lage beider Beine in den verschiedenen Augenblicken jedes Schrittes nach Vorschrift dieser Gesetze konstruirt werden, damit der Maler beurtheile, ob diese Darstellung dem Augenmaasse nach der wirklichen Stellung der Beine beim Gehen entspreche.

Drittens endlich können auf diese Theorie Vorschriften zum Bau von Maschinen gegründet werden, welche wie der Mensch von zwei Stützen getragen, und durch deren abwechselnde Streckung und Schwingung fortbewegt werden.

Zum Zwecke der ersten Anwendung sind von uns die im vorigen Abschnitte enthaltenen Messungen gemacht worden, und es ergiebt sich aus ihrer Vergleichung mit den in diesem Abschnitte entwickelten Gesetzen eine, wie wir gezeigt haben, genügende Uebereinstimmung.

Die zweite Anwendung lässt sich um so leichter machen, da die Natur der Beine so geschaffen ist, dass in ihnen ein Knochen dicht an den anderen grenzt, und je zwei durch Gelenke, wie durch Charniere, so verbunden sind, dass sie nur durch Drehung um eine gemeinsame

Axe ihre gegenseitige Lage ändern. Da die Grösse und Gestalt der Knochen unveränderlich ist, so muss es möglich sein, wenn blos die gegenseitige Stellung der Drehungspunkte richtig vorgezeichnet wird, die einzelnen Knochen zwischen diesen Drehungspunkten so einzusetzen, dass sie genau an einander passen, gerade so, wie man die Räder einer Uhr in das Uhrgestell so einsetzt, dass sie alle regelmässig in einander greifen. Die Zeichnung der gegenseitigen Stellung der Knochen muss sich also auf so feste Regeln bringen lassen, dass dem Augenmaasse dabei gar nichts überlassen bleibt. Sind nämlich nach Vorschriften der Theorie die Punkte vorgezeichnet, wo in verschiedenen Augenblicken eines Schrittes die Gelenkmittelpunkte aller Knochen gleichzeitig liegen sollen, so muss man den Umriss jedes einzelnen Knochens treu nach der Natur kopiren und an den beiden Enden die wahren Drehungspunkte genau bezeichnen. Lässt man diese Drehungspunkte mit jenen der Theorie nach vorgezeichneten Punkten zusammenfallen, so müssen alle Knochen in alle vorgezeichnete Lagen genau hineinpassen. Wirklich haben wir nach Vorschriften der Theorie ganze Systeme solcher Figuren ausgeführt, und dann mit Hülfe eines mit abgemessener Geschwindigkeit gedrehten Cylinders sie schnell nach einander dem Auge so vorgeführt, dass sie alle zusammen im Auge einen täuschenden Eindruck hervorbrachten, nämlich, als wenn man eine Figur gehen oder laufen sähe, und zwar auf eine der Natur ganz entsprechende Weise.

Auf die dritte Anwendung haben wir (siehe § 1) für die Gegenwart verzichtet, weil eine solche Ausführung nur dann erst lehrreich und erfolgreich werden kann, wenn alle einflussreichen Umstände der Maschine genau vorgeschrieben und eben so genau ausgeführt werden, wozu wohl eine vollständigere Ausführung der Theorie, eigens auf diesen Zweck berechnet, abzuwarten und grössere physische Mittel aufzuwenden sein würden.

Theorie des Gehens.

§ 122.

Zur Begründung einer Theorie des Gehens wollen wir *erstens* die auf das Gehen Einfluss habenden *Kräfte* und *zweitens* die in einzelnen Augenblicken des Gehens statthabende *Lage* des Körpers angeben. Beide Angaben zusammen genommen bilden die *Grundlage* unserer Theorie, auf welche wir die für das Gehen gültigen Bewegungsgesetze bauen.

§ 123.

Kräfte, welche auf das Gehen Einfluss haben.

Die auf das Gehen Einfluss habenden Kräfte sind:

A. *Die Streckkraft,* oder diejenige Kraft, welche den Schenkelkopf in gerader Linie von dem auf dem Boden aufstehenden Fusspunkte zu entfernen strebt;

B. *Die Schwerkraft,* oder das Gewicht des Körpers;

C. *Der Widerstand,* den der Körper beim Gehen findet.

Die *erste* von diesen drei auf das Gehen Einfluss habenden Kräften, nämlich die *Streckkraft*, wirkt auf die beiden äussersten Enden des Beins, auf den Schenkelkopf und auf den Fusspunkt (d. i. denjenigen Punkt des Fusses, welcher auf den Boden drückt), gerade so, als wenn beide einander abstiessen. Die *Richtung* dieser Kraft hängt also von der *Lage* dieser beiden Endpunkte ab. Wie diese Lage auch beschaffen sein, oder nach welcher Richtung die Streckkraft wirken möge, so kann sie doch immer, nach dem Parallelogramme der Kräfte, in eine *vertikale* und in eine *horizontale* Seitenkraft zerlegt werden.

Der vertikale Theil der Streckkraft, sagen wir nun, bringt im Körper die nämliche Acceleration senkrecht aufwärts hervor, wie die *zweite* auf das Gehen Einfluss habende Kraft, nämlich *die Schwerkraft* senkrecht abwärts. Ist dies der Fall, so leuchtet ein, dass der Schwerpunkt des Körpers in gleicher Höhe über dem horizontalen Fussboden bleiben könne.

Der horizontale Theil der Streckkraft bringt eine Geschwindigkeitszunahme nach horizontaler Richtung im Körper hervor, deren Grösse wir aber nur dann erst bestimmen können, wenn wir die *Lage* des stemmenden Beins, von der sie abhängt, näher betrachtet haben. Durch diese in jedem Augenblicke des Streckens hinzukommende Geschwindigkeit wird der Körper in seiner horizontalen Bewegung so lange beschleunigt, bis die *dritte* auf das Gehen Einfluss habende Kraft, nämlich *der Widerstand,* der bei jener Beschleunigung immer zunahm, so gross geworden ist, dass er eine jener Beschleunigung gleiche Retardation hervorbringt. Die Summe der von dann an hinzukommenden Acceleration und Retardation ist und bleibt gleich Null, weil von dann an der Widerstand fortwährend dem horizontalen Theile der Streckkraft gleich bleibt: der Körper wird daher mit der alsdann vorhandenen Geschwindigkeit sich gleichmässig vorwärts zu bewegen fortfahren.

Wir haben jetzt von den auf das Gehen Einfluss habenden Kräften, wie von gleichförmig beschleunigenden Kräften gesprochen. Sind nun gleich jene Kräfte keine gleichförmig beschleunigenden Kräfte, so kehren sie doch gleichförmig mit jedem Schritte wieder, und die mittlere

Geschwindigkeit des Körpers wird daher fast die nämliche sein, wie wenn jene Kräfte wirklich gleichförmig beschleunigende Kräfte wären. Die drei beim Gehen Einfluss habenden Kräfte stehen also bei unserer Voraussetzung gleichmässigen Gehens in einer solchen Beziehung zu einander, dass wenn die erste derselben in eine vertikale und horizontale Seitenkraft zerfällt wird, jede dieser Seitenkräfte einer der beiden anderen Kräfte das Gleichgewicht hält.

Ausserdem, dass wir für die drei Kräfte Mittelwerthe nehmen, und diese als gleichmässig wirkend betrachten, wollen wir ferner, um der grösseren Einfachheit willen, einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt für alle drei Kräfte annehmen, und wollen diesen Punkt den *Mittelpunkt des Körpers* nennen, und ihn als Grenzpunkt zwischen dem Rumpfe und den Beinen betrachten. Haben alle drei Kräfte einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt, so können wir sie durch drei gerade in einem Punkte zusammenstossende Linien darstellen. In Fig. 27 sei *c* der *Mittelpunkt des Körpers,* von dem aus drei gerade Linien gezogen worden sind, die eine *ca* in vertikaler, die andere *cb* in horizontaler Richtung, die dritte *cd* in der Richtung der Verlängerung des Beins, auf dem man steht. Diese drei Linien können die drei beim Gehen Einfluss habenden Kräfte ihrer Grösse und Richtung nach darstellen. Es müssen aber diese drei Linien, weil jene drei Kräfte einander das Gleichgewicht halten, so beschaffen sein, dass wenn man zwei derselben zu Seiten eines Parallelogramms macht, die dritte Linie eben so gross ist, wie die Diagonale des Parallelogramms und mit der geradlinigen Verlängerung der Diagonale über *c* hinaus zusammenfällt. — Es ist überflüssig, die irrige Vorstellung mancher Physiologen zu widerlegen, welche meinen, dass die Kräfte, welche den Körper beim Gehen vorwärts treiben, über die Kräfte, welche ihn rückwärts treiben, *fortwährend* das Uebergewicht haben müssten. Aus einer solchen fortdauernden Wirksamkeit der Kräfte nach *einer* Richtung resultirt bekanntlich nie eine gleichförmige, sondern eine immer an Geschwindigkeit zunehmende Bewegung. Eine gleichförmige Bewegung in gerader Linie findet aber nur Statt, wenn entweder gar keine Kraft auf den sich bewegenden Körper fortwirkt, oder wenn alle Kräfte, die auf ihn fortwirken, sich das Gleichgewicht halten.

§ 124.

Lage des Körpers in einzelnen Augenblicken des Gehens.

Die gleichzeitige Lage beider Beine beim Gehen stellen wir durch zwei Zeichnungen, Fig. 28 und 29 dar, von denen die erstere gleichsam den Aufriss, die letztere den Grundriss giebt — nämlich jene die Pro-

jektion auf eine dem Wege parallele, vertikale Ebene, diese die Projektion auf eine dem Wege parallele, horizontale Ebene.

Die *erste* Zeichnung, Fig. 28, giebt die gleichzeitige Stellung der beiden Fusspunkte in denjenigen Augenblicken, wo sie beide den Boden berühren, nebst der Lage des Mittelpunktes des Körpers, auf eine dem Wege parallele, vertikale Ebene projicirt, an. Die Lage des rechten Beins wird durch volle Linien, die gleichzeitige Lage des linken Beins durch punktirte Linien angegeben. Der Fusspunkt des rechten Beins ist mit a, der des linken Beins mit b, der Mittelpunkt des Körpers endlich mit c bezeichnet. Für einerlei Zeitmomente sind an a, b und c einerlei Zahlen gesetzt worden. $b_{0, 1, 2}$ will sagen, dass während c von c_0 durch c_1 bis c_2 und a von a_0 bis $a_{1, 2}$ sich fortbewegen, b im Punkte $b_{0, 1, 2}$ ruhen bleibt. Eben so will $a_{1, 2, 3, 4}$ sagen, dass während c von c_1 durch c_2 und c_3 bis c_4 und b von $b_{1, 2}$ bis $b_{3, 4}$ sich fortbewegen, a im Punkte $a_{1, 2, 3, 4}$ ruhen bleibt u. s. w. Die Räume $a_0\, b_{0, 1, 2} = b_{0, 1, 2}\, a_{1, 2, 3, 4}$ u. s. w. $= c_0\, c_2 = c_2\, c_4$ u. s. w. sind Schrittlängen.

Die *andere* Zeichnung, Fig. 29, stellt dieselbe gleichzeitige Fortschreitung der beiden Beine und des Mittelpunktes des Körpers, auf eine dem Wege parallele horizontale Ebene projicirt, dar. Die Bezeichnung der beiden Füsse und des Mittelpunktes des Körpers sind wie in Fig. 28.

Die Zeichnungen sind nach folgenden Regeln entworfen worden, nämlich:

1. Beim Beginne jedes Schrittes, d. i. in dem Augenblicke, wo das hintere Bein vom Boden aufgehoben wird, liegt der Fusspunkt des vorderen Beins mit dem Schwerpunkte in einer und derselben auf der Richtung des Gehens normalen Ebene. Z. B. liegen beim Beginne des ersten Schrittes b_0 und c_0, beim Beginne des zweiten Schrittes a_2 und c_2, beim Beginne des dritten Schrittes b_4 und c_4 in einer auf der Richtung des Weges normalen Ebene.

2. Bei jedem Schritte wird der Fusspunkt des einen Beins eben so weit vor den Fusspunkt des anderen Beins gesetzt, als beim vorhergehenden oder nachfolgenden Schritte der Fusspunkt des letzteren Beins vor den des ersteren, was aus der gleichen Theilnahme beider Beine am Gehen folgt. Z. B. kommt beim ersten Schritte der Fusspunkt $a_{1, 2, 3, 4}$ so weit vor dem Fusspunkt $b_{0, 1, 2}$ zu liegen, als beim zweiten Schritte der Fusspunkt $b_{3, 4, 5, 6}$ vor $a_{1, 2, 3, 4}$.

3. Die Zeit eines jeden Schrittes, d. i. der Zeitraum zwischen der Aufhebung des einen und des anderen Fusses, zerfällt in zwei Unterabtheilungen, nämlich in einen Zeitabschnitt, wo der Körper auf einem Beine steht, und in einen Zeitabschnitt, wo er auf beiden Beinen steht. Z. B. während beim ersten Schritte der Mittelpunkt des Körpers von

c_0 nach c_1 fortrückt, steht der Körper auf einem Beine, während jener von c_1 nach c_2 fortrückt, steht dieser auf beiden Beinen; während beim zweiten Schritte der Mittelpunkt des Körpers von c_2 nach c_3 fortrückt, steht der Körper wieder blos auf einem Beine, während jener von c_3 nach c_4 fortrückt, steht dieser wieder auf beiden Beinen u. s. w. Nie kommt ein Augenblick, wo der Körper ganz frei in der Luft schwebte und den Boden mit keinem Fusse berührte: denn sobald dieser Fall einträte, würde das Gehen in Laufen verwandelt werden. Jedoch bemerkt man, dass je schneller man geht, desto kleiner der Zeitraum in jedem Schritte wird, wo der Körper auf beiden Beinen steht, und beim schnellsten Gehen verschwindet dieser Zeitraum gänzlich.

§ 125.

Grundlage der Theorie des Gehens.

Wir haben bei der Angabe der auf das Gehen Einfluss habenden Kräfte und der Lage des Körpers in einzelnen Augenblicken des Gehens einige Annahmen gemacht, die wir nochmals vollständig und genau aussprechen wollen, weil sie die Grundlage unserer Theorie bilden. Diese Annahmen sind folgende:

1. Die Streckkraft der Beine ist so gross und nicht grösser, als nöthig ist, um den Mittelpunkt des Körpers immer in einer und derselben Horizontalebene zu erhalten — *Princip des Maasses der Anstrengung.*
2. Die Richtung der Streckkraft geht immer durch den Mittelpunkt des Körpers und den Fusspunkt des stemmenden Beins — *Princip der Richtung der Streckung.*
3. Das vordere Bein steht vertikal auf dem Boden in dem Augenblicke, wo das hintere den Boden verlässt — *Princip der anfänglichen Stellung.*

Uebrigens beschränken wir unsere Theorie des Gehens auf die Fälle, wo die oberen Endpunkte der beiden Beine mit nahe gleichförmiger Geschwindigkeit fortrücken, d. h. wo der Körper beim Gehen sich nicht seitwärts dreht. Wir wollen ferner, der Einfachheit wegen, die Länge des Fusses noch ausser Rechnung lassen, wie wenn wir die Ferse nie gebrauchten, und blos mit dem Ballen aufträten. Endlich schliessen wir auch für's Erste den seltenen Fall aus, wo das vordere Bein so weit nach vorn gestreckt wird, dass es im Augenblicke des Aufsetzens auf den Boden mit der Vertikalen einen grösseren Winkel als das hintere Bein macht.

§ 126.

Die Summe der Quadrate der Erhebung h des Mittelpunktes des Körpers über dem horizontalen Fussboden und der Schrittlänge p ist dem Quadrate der Länge l des gestreckten Beins gleich, oder es ist

$$h^2 + p^2 = l^2.$$

Aus dem Princip der anfänglichen Stellung im vorigen Paragraphen, wonach das vordere Bein vertikal auf dem Boden steht in dem Augenblicke, wo das hintere Bein den Boden verlässt, ergiebt sich unmittelbar, dass die Länge l des gestreckten hinteren Beins, wenn es vom Boden erhoben wird, mit dem Vertikalabstande des oberen und unteren Endpunktes dieses Beins, d. i. der Erhebung h des Mittelpunktes des Körpers über dem horizontalen Fussboden (weil wir nach § 123 den Mittelpunkt des Körpers als Grenzpunkt zwischen Rumpf und Bein betrachten) und mit dem Horizontalabstand der beiden Endpunkte jenes Beins, d. i. nach dem Principe der anfänglichen Stellung der Abstand der beiden Füsse von einander, oder die Schrittlänge p, über dem Boden ein rechtwinkeliges Dreieck einschliessen, in welchem die Länge l des gestreckten Beins die Hypotenuse ist, und dass folglich nach dem pythagoräischen Lehrsatze

$$p^2 + h^2 = l^2.$$

§ 127.

Auf den Körper wirkt stets blos die Streckkraft eines Beins: diese beschleunigt ihn in der Zeit, wo er auf einem Beine steht, retardirt ihn in der Zeit, wo er auf beiden Beinen steht.

Dieser Satz folgt aus dem Principe des Maasses der Anstrengung, § 125. Es ergiebt sich nämlich zuerst, dass in der Zeit, wo man auf beiden Beinen steht, die ganze Last des Körpers von dem vorderen Beine getragen werden müsse, daraus, dass die Stellung dieses Beins, nach dem Schlusse von § 125, der Vertikalen näher kommt, als die des hinteren Beins. Das Princip des Maasses der Anstrengung verlangt nämlich, dass der Mittelpunkt des Körpers durch die Streckkraft des Beins immer in einer und derselben Horizontalebene erhalten werde, dass folglich der *vertikale Theil* der Streckkraft der *Schwerkraft* des Körpers gleiche, die ganze Streckkraft dabei aber möglichst klein sei. Ist nun ψ der Winkel des vorderen Beins mit der Vertikalen, φ der

Winkel des hinteren Beins mit der Vertikalen, so ist in der Zeit, wo man auf beiden Beinen steht, dem Ende von § 125 gemäss

$$\psi < \varphi.$$

Bezeichnen wir nun mit a irgend einen Theil der Streckkraft, und es ist das *vordere* Bein, welches diesen Theil der Streckkraft ausübt, so wird dadurch ein Theil des Körpers gleich:

$$a \cos \psi$$

getragen; ist es dagegen das *hintere* Bein, welches diesen Theil der Streckkraft ausübt, so wird dadurch ein Theil des Körpers gleich:

$$a \cos \varphi$$

getragen. Nun ist

$$a \cos \psi > a \cos \varphi,$$

weil $\psi < \varphi$: folglich wird mit gleicher Anstrengung vom vorderen Beine ein grösserer Teil des Körpers getragen, als vom hinteren Beine. Was aber von dem Theile a der Streckkraft gilt, gilt von jedem Theile. Die ganze Streckkraft, deren vertikaler Theil den Körper trägt, ist daher am kleinsten, wenn sie, während der Körper beim Gehen auf beiden Beinen steht, vom vorderen Beine allein ausgeht. Weil nun, nach dem Principe des Maasses der Anstrengung, die Streckkraft nie grösser sein soll, als nothwendig ist, um den Körper zu tragen, so folgt, dass, während der Körper auf beiden Beinen steht, die Streckkraft des vorderen Beins allein auf den Körper wirke. — Da in der übrigen Zeit, wo der Körper auf einem Beine steht, an sich klar ist, dass blos die Streckkraft dieses einen Beins auf den Körper wirken kann, so ist der *erste* Satz, dass beim Gehen auf den Körper stets blos die Streckkraft *eines* Beins wirke, erwiesen.

Da übrigens nach dem Principe der anfänglichen Stellung, § 125, der Augenblick, wo das stemmende Bein vertikal steht, den Zeitraum, wo der Körper auf beiden Beinen steht, von dem Zeitraume scheidet, wo er auf einem Beine steht (weil das hintere Bein in diesem Augenblicke aufgehoben wird), das stemmende Bein aber vor diesem Augenblicke in schiefer Richtung von vorn nach hinten auf den Körper wirkte, nach diesem Augenblicke dagegen in schiefer Richtung von hinten nach vorn: so leuchtet daraus auch die Richtigkeit unseres zweiten Satzes ein, dass der Körper in der Zeit, wo er auf beiden Beinen steht, durch die Streckkraft retardirt, in der übrigen Zeit durch dieselbe accelerirt werde.

§ 128.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Rumpf sich bewegt, als gleichförmig vorausgesetzt, schwingt das aufgehobene Bein wie ein Pendel, das ausser der anfänglichen schiefen Lage auch eine Geschwindigkeit in seiner Kreisbahn rückwärts erhalten hat, die, am unteren Endpunkte des Beins gemessen, der Geschwindigkeit des Rumpfes, nach der Tangente der Kreisbahn geschätzt, gleich ist.

Wir gehen von der allgemeinen Gleichung der Bewegung für ein System von Körpern aus, welche in der zweiten Ausgabe von Poisson's Traité de Mécanique tome II, § 531, pag. 395 zu finden ist. Es seien nämlich m, m', m'' u. s. w. die Massen der physischen Punkte, aus denen das System besteht; x, y, z die drei rechtwinkeligen Koordinaten des Punktes m am Ende des variablen Zeitraums u, der vom Beginne der Bewegung an gerechnet wird, X, Y, Z die beschleunigenden Kräfte, nach den Koordinaten x, y, z zerlegt, nach der positiven Richtung. Die entsprechenden Grössen für die Punkte m', m'' u. s. w. sollen ebenso, nur mit Beifügung von Accenten, bezeichnet werden. Die Gleichung für die Bewegung dieser Punkte ist folgende

$$\Sigma m\left(X-\frac{d^2x}{du^2}\right)\delta x+\Sigma m\left(Y-\frac{d^2y}{du^2}\right)\delta y+\Sigma m\left(Z-\frac{d^2z}{du^2}\right)\delta z=0,$$

wo die Summen Σ sich auf alle Punkte m, m', m'' u. s. w. erstrecken.

Zur Vereinfachung der Aufgabe denken wir uns 1. statt des Weges blos einzelne feste Punkte (gleichsam auf den Weg gelegte Steine) in horizontaler Linie und in der Entfernung der Schritte von einander. Wir brauchen dann keine Rücksicht darauf zu nehmen, dass das schwingende Bein dem Fussboden zu nahe käme und anstiesse; — 2. denken wir uns statt des Beins eine gerade, feste Linie, die mit dem untersten Ende auf einem jener Punkte steht und durch Reibung festgehalten wird; — 3. statt der auf die ganze Länge des Beins verteilten Masse denken wir uns eine in einem mittleren Punkte jener festen Linie koncentrirte Masse; — 4. statt des Körpers endlich eine im obersten Punkte dieser festen Linie koncentrirte Masse, die über den Weg horizontal mit gleichförmiger Geschwindigkeit hinfliegt. — In Fig. 30 seien

A, B, C u. s. w. die Punkte (1),
mA die feste Linie (2),
m' die koncentrirte Masse des Beins (3),
m die koncentrirte Masse des Körpers (4).

Da wir blos zwei physische Punkte m und m' haben, und da diese sich blos in einer Vertikalebene, die wir für die Ebene der x und y nehmen,

bewegen, so können wir statt der obigen allgemeinen Gleichung folgende schreiben:

$$m\left(X-\frac{d^2x}{du^2}\right)\delta x+m'\left(X'-\frac{d^2x'}{du^2}\right)\delta x'+m\left(Y-\frac{d^2y}{du^2}\right)\delta y+m'\left(Y'-\frac{d^2y'}{du^2}\right)\delta y'=0.$$

Uebrigens seien x, x' die horizontalen, y, y' die vertikalen Koordinaten, und $x-x'$ und $y-y'$ seien für den Anfang der Bewegung positiv.

In dieser Gleichung lassen nun folgende Grössen eine nähere Bestimmung zu, nämlich

1. weil auf den Punkt m' blos die Schwere von aussen wirkt, die wir mit g bezeichnen, so ist

$$X'=0;\ Y'=-g;$$

2. weil der Abstand der beiden Punkte m und m' konstant ist, so ist, wenn wir mit l die Länge der festen Linie und mit r das Verhältniss des Abstands mm' zu l bezeichnen,

$$(x-x')^2+(y-y')^2=r^2l^2,$$

woraus folgt, dass

$$\delta y'=\delta y+\frac{x'-x}{y'-y}(\delta x-\delta x');$$

3. weil die Geschwindigkeit des Punktes m immer horizontal und gleich gross $(=c)$ ist, so ist

$$\frac{dx}{du}=c,\ \text{folglich}\ \frac{d^2x}{du^2}=0;$$

4. weil der Punkt m sich immer horizontal bewegt, so ist y konstant, oder

$$y=h.$$

Hierdurch verwandelt sich die obige Gleichung für die Bewegung der beiden Punkte m und m' in die folgende:

$$mX\delta x-m'\frac{d^2x'}{du^2}\delta x'+mY\delta y-m'\left(g+\frac{d^2y'}{du^2}\right)\left[\delta y+\frac{x'-x}{y'-y}(\delta x-\delta x')\right]=0.$$

Da hierin δx, $\delta x'$ und δy von einander ganz unabhängig sind, so müssen ihre Koefficienten jeder für sich $=0$ sein, nämlich der Koefficient

(1.) von δx: $$mX-m'\left(g+\frac{d^2y'}{du^2}\right)\frac{x'-x}{y'-y}=0,$$

(2.) von $\delta x'$: $$-m'\frac{d^2x'}{du^2}+m'\left(g+\frac{d^2y'}{du^2}\right)\frac{x'-x}{y'-y}=0,$$

(3.) von δy: $$mY-m'\left(g+\frac{d^2y'}{du^2}\right)=0.$$

Aus (1) und (2) folgt dann

$$mX = m' \frac{d^2x'}{du^2}, \tag{4.}$$

und aus (2), (3) und (4) zusammen

$$X = Y \frac{x' - x}{y' - y}. \tag{5.}$$

Fügen wir zu den drei Gleichungen (3), (4) und (5) noch die oben angeführte Gleichung

$$(x - x')^2 + (y - y')^2 = r^2 l^2 \tag{6.}$$

hinzu, so haben wir die vier Hauptgleichungen für die Bewegung der Punkte m und m'.

Man setze

$$X = P \cos \psi; \quad x' - x = rl \cos \varphi,$$
$$Y = P \sin \psi; \quad y' - y = rl \sin \varphi,$$

mithin

$$d^2x' = -rl \cos \varphi \, d\varphi^2 - rl \sin \varphi \, d^2\varphi,$$
$$d^2y' = -rl \sin \varphi \, d\varphi^2 + rl \cos \varphi \, d^2\varphi,$$

und setze $\frac{m}{m'} = \mu$;

so wird

$$\mu P \sin \psi = g - rl \sin \varphi \left(\frac{d\varphi}{du}\right)^2 + rl \cos \varphi \frac{d^2\varphi}{du^2}, \tag{3.}$$

$$\mu P \cos \psi = -rl \cos \varphi \left(\frac{d\varphi}{du}\right)^2 - rl \sin \varphi \frac{d^2\varphi}{du^2}, \tag{4.}$$

$$\operatorname{tang} \psi = \operatorname{tang} \varphi, \tag{5.}$$

und zwar ist mit Rücksicht auf Fig. 27 und § 123

$$\psi = \varphi - \pi.$$

Hiermit folgt aus (3) und (4)

$$-\mu P = g \sin \varphi - rl \left(\frac{d\varphi}{du}\right)^2,$$

$$0 = g \cos \varphi + rl \frac{d^2\varphi}{du^2}.$$

Die letztere Gleichung mit $d\varphi$ multiplicirt und integrirt, kommt

$$C = g \sin \varphi + \frac{rl}{2} \cdot \left(\frac{d\varphi}{du}\right)^2,$$

und die erstere wird dann

$$-\mu P = 3g \sin \varphi - 2C.$$

Zur Bestimmung der Konstanten C, welche durch die Integration in die Gleichungen gekommen ist, ist für den Anfang der Bewegung, oder für den Augenblick $u = o$, wo der Fuss aufgehoben wird, gegeben

$$x' - x = -rp,$$
$$y' - y = -rh,$$
$$\frac{dx'}{du} = \left(1 - \frac{rh^2}{l^2}\right)c;$$

Denn 1. in diesem Augenblicke endigt der Zeitraum, wo beide Füsse auf dem Boden standen; der Abstand aber, in dem sich beide Füsse in diesem Augenblicke noch befinden, und die Zeit über, wo sie zugleich auf dem Boden standen, sich befanden, ist der Schrittlänge p gleich (siehe § 124 Fig. 28 und 29): der Abstand der beiden Füsse, d. i. der Abstand der unteren Endpunkte der beiden die Beine darstellenden geraden Linien, verhält sich aber zum Abstande des Punkts m' in der einen Linie von dem Punkte m' in der anderen Linie, wie $1 : r$, oder, weil im Anfange der Bewegung, wo das eine Bein vertikal steht, der Abstand der Punkte m', m' beider Beine dem Abstande der Punkte m', m des hinteren Beins gleich ist,

$$x - x' : p = r : 1,$$

oder

$$x' - x = -rp.$$

2. Da der Fuss, welcher zu schwingen beginnt, im ersten Augenblicke sich noch nicht vom Boden entfernt hat, so ist der Vertikalabstand der beiden Endpunkte des Beins dem Vertikalabstande h des oberen Endpunktes vom Boden gleich: der Vertikalabstand der beiden Endpunkte des Beins verhält sich aber zum Vertikalabstande der Punkte m und m' von einander, wie $1 : r$, oder es ist

$$y - y' : h = r : 1,$$

oder

$$y' - y = -rh.$$

3. Da der untere Endpunkt des Beins bisher in A ruhig stand, der obere Endpunkt aber der Voraussetzung nach sich immer mit der Geschwindigkeit c horizontal fortbewegte (was nur möglich war, wenn die Länge l des Beins, die wir von jetzt an konstant annehmen, vorher, so lange das Bein in A auf dem Boden stand, variabel war, oder sich streckte), so musste die horizontale Geschwindigkeit γ des Punktes m' zur horizontalen Geschwindigkeit c des Punktes m sich verhalten wie $1 - r$ zu 1, vorausgesetzt, dass das Bein seiner ganzen Länge nach sich gleichmässig gestreckt habe, oder es war

$$\gamma : c = 1 - r : 1,$$

oder

$$\gamma = (1 - r)c.$$

Da sich aber das Bein von jetzt an nicht mehr strecken, der Punkt m aber mit der horizontalen Geschwindigkeit c sich weiter fortbewegen soll, so muss, damit dies möglich ist, dem Punkte m' vom Punkte m in diesem Augenblicke die Geschwindigkeit $\frac{p}{l}(c-\gamma)$ nach der Richtung des Beins mitgetheilt werden, nach horizontaler Richtung folglich die Geschwindigkeit $\frac{p^2}{l^2}(c-\gamma)$. Die horizontale Geschwindigkeit des Punktes m' wird daher in diesem Augenblicke, d. i. für $u=o$

$$\frac{dx'}{du}=\gamma+\frac{p^2}{l^2}(c-\gamma)$$

oder für γ den obigen Werth und für l^2-p^2 nach § 126 den Werth h^2 gesetzt,

$$\frac{dx'}{du}=\left(1-\frac{rh^2}{l^2}\right)c.$$

Hiernach wird nun für den Augenblick $u=o$, wo der Fuss aufgehoben wird,

$$\cos\varphi=-\frac{p}{l},$$

$$\sin\varphi=-\frac{h}{l},$$

$$\frac{dx'}{du}=\left(1-\frac{rh^2}{l^2}\right)c=c-rl\sin\varphi\cdot\frac{d\varphi}{du}=c+rh\frac{d\varphi}{du},$$

oder

$$\left(\frac{d\varphi}{du}\right)^2=\frac{h^2c^2}{l^4}=\frac{2}{rl}\left(C+\frac{h}{l}g\right),$$

folglich

$$C=\frac{r}{2}\cdot\frac{h^2c^2}{l^3}-\frac{h}{l}g.$$

Es sei endlich $\frac{1}{2}\pi-\varphi=\chi$ gleich dem spitzen Winkel des Beins mit der Vertikalen, so werden die beiden Hauptformeln

$$-\mu P+\frac{rh^2c^2}{l^3}-\frac{2h}{l}g+3g\cos\chi=0, \qquad \text{I.}$$

$$\frac{rh^2c^2}{2l^3}-\frac{h}{l}g+g\cos\chi=\frac{rl}{2}\cdot\left(\frac{d\chi}{du}\right)^2, \qquad \text{II.}$$

Das Differential der letzteren Gleichung II. zeigt, dass die relative Bewegung des Punktes m' zum Punkte m dem Gesetze der Beschleunigung unterworfen ist, welches für ein Kreispendel von der Länge rl gilt, nämlich es ist

$$g\sin\chi=-rl\frac{d^2\chi}{du^2}.$$

Die Gleichung II. selbst aber giebt die Geschwindigkeit des Pendels in seiner Kreisbahn als Funktion des Ablenkungswinkels χ. Da nun für $u = o$, wo das Bein aufgehoben wird,

$$\cos\chi = \frac{h}{l},$$

so ist für diesen Augenblick

$$\frac{h^2c^2}{l^4} = \left(\frac{d\chi}{du}\right)^2,$$

oder es ist

$$\frac{h}{l}\,c = l\,\frac{d\chi}{du}$$

gleich der Geschwindigkeit des Pendels in seiner Kreisbahn rückwärts, in der Entfernung l vom Aufhängepunkte, d. i. am unteren Endpunkte des schwingenden Beins gemessen. Es ergiebt sich dies auch aus der oben angeführten Gleichung, welche für den Augenblick $u = o$ galt, $c + rh\,\frac{d\varphi}{du} = \left(1 - \frac{rh^2}{l^2}\right)c$, unmittelbar, wenn $-\frac{d\chi}{du}$ für $\frac{d\varphi}{du}$ substituirt wird. Die Geschwindigkeit $\frac{h}{l}\,c$ ist aber die Geschwindigkeit c des Punktes m nach der Richtung der Tangente der Kreisbahn (senkrecht auf der Linie mm') im Augenblicke $u = o$, wo das Bein aufgehoben wird, geschätzt, was zu beweisen war.

Die Gleichung I. lehrt die Kraft P kennen, welche auf den Punkt m wirken muss, um der gemachten Bedingung gleichförmiger und horizontaler Geschwindigkeit des Punktes m zu genügen.

§ 129.

Die Geschwindigkeit des Punktes m' in dem Augenblicke, wo das Bein wieder auftritt, ist nahe der Summe der Geschwindigkeiten des Rumpfes m und der zur Ablenkung des Beins in diesem Augenblicke gehörigen Pendelgeschwindigkeit gleich.

Die Geschwindigkeit des Punktes m' nach *horizontaler* Richtung ist nach dem vorhergehenden Paragraphen.

$$\frac{dx'}{du} = c - rl\sin\varphi\cdot\frac{d\varphi}{du} = c - rl\cos\chi\cdot\frac{d\chi}{du},$$

nach *vertikaler* Richtung, da nach dem vorhergehenden Paragraphen $y' - y = rl\sin\varphi$ und $\frac{1}{2}\pi - \varphi = \chi$ und $y = h$ ist,

$$\frac{dy'}{du} = rl\sin\chi\cdot\frac{d\chi}{du};$$

folglich das Quadrat seiner absoluten Geschwindigkeit:

$$r^2l^2\left(\frac{d\chi}{du}\right)^2 - 2rlc\cos\chi\,\frac{d\chi}{du} + c^2.$$

Betrachten wir nun den Augenblick, wo das schwingende Bein wieder auf den Boden tritt, so ist zunächst *beim schnellsten Gehen* nach § 124 und nach dem Principe der anfänglichen Stellung § 125

$$\chi = 0;$$

denn beim schnellsten Gehen wird nach § 124 der vordere Fuss in dem nämlichen Augenblicke auf den Boden gesetzt, wo der hintere Fuss aufgehoben wird; in dem Augenblicke, wo der hintere Fuss aufgehoben wird, soll aber nach dem Principe der anfänglichen Stellung, § 125, das vordere Bein vertikal stehen, folglich der Winkel χ, den es mit der Vertikalen einschliesst $= 0$ sein. Hieraus ergiebt sich das Quadrat der Geschwindigkeit des Punktes m' im Augenblicke des Auftretens beim schnellsten Gehen:

$$\left(c - rl\frac{d\chi}{du}\right)^2,$$

oder es ist beim schnellsten Gehen die Geschwindigkeit des Punktes m' in diesem Augenblicke gleich der Summe der Geschwindigkeit c des Punktes m und der Geschwindigkeit des Pendels in seiner Kreisbahn $-rl\frac{d\chi}{du}$. Auch bei langsamerem Gehen gilt dieser Satz näherungsweise, so lange nämlich der Werth von χ im Augenblicke des Auftretens klein, oder $\cos\chi$ wenig von 1 verschieden ist. — Dasselbe folgt auch unmittelbar daraus, dass die relative Bewegung des Punktes m' gegen m dem Pendelgesetz unterworfen ist, und dass im Augenblicke des Auftretens der Punkt m' der Mitte seiner Schwingungsbahn nahe ist, sich also fast horizontal, d. i. dem Punkte m parallel, bewegt.

§ 130.

Die lebendige Kraft zu finden, welche dem Punkte m' vom Punkte m in der Zeit t, wo der Körper auf einem Beine steht, mitgetheilt wird.

Setzen wir für die Gleichung $g \sin\chi = -rl\frac{d^2\chi}{du^2}$ in § 128, gerade so, wie es bei der Betrachtung des Pendels geschieht, näherungsweise

$$g\chi = -rl\frac{d^2\chi}{du^2},$$

so ist

$$\chi = a \cos b\,(u - \alpha),$$

$$\frac{d\chi}{du} = -ab \sin b\,(u - \alpha),$$

$$\frac{d^2\chi}{du^2} = -ab^2 \cos b\,(u - \alpha) = -b^2\chi = -\frac{g}{rl}\chi,$$

folglich $b^2 = \frac{g}{rl}$. Man setze $T = \pi \sqrt{\frac{rl}{g}} = \frac{\pi}{b}$, so ist

$$\begin{aligned} \text{für } u - a &= o, \quad \chi = a, \\ u - a &= T, \quad \chi = -a, \\ u - a &= 2T, \chi = a \\ &\text{u. s. w.,} \end{aligned}$$

d. h. T ist die Schwingungsdauer und $b = \frac{\pi}{T}$.

Ferner ist nach § 128, wenn in der Gleichung II. $\chi = o$ gesetzt wird,

$$\left(\frac{d\chi}{du}\right)^2 = \frac{h^2 c^2}{l^4} + \frac{2g}{rl} \cdot \frac{l-h}{l},$$

wo für $\frac{l-h}{l}$ der Werth $\frac{p^2}{2l^2}$ gesetzt werden kann, weil für den Augenblick $u = o$, wo das Bein aufgehoben wird, $\frac{l-h}{l} = \sin\text{vers}\,\chi$ und $\frac{p}{l} = \sin\chi$ ist, woraus $\frac{l-h}{l} = \frac{p^2}{2l^2}$ gefunden wird, wenn man χ für $\sin\chi$ setzt. Es ist also für $\chi = o$

$$\left(\frac{d\chi}{du}\right)^2 = \frac{h^2 c^2}{l^4} + \frac{p^2 g}{rl^3} = a^2 b^2 = a^2 \frac{g}{rl},$$

oder

$$a = \frac{p}{l} \sqrt{1 + \frac{r h^2 c^2}{g l p^2}}.$$

Setzt man hierin für c den Werth $\frac{p}{\tau}$, wo τ die Schrittdauer bezeichnet, und für $\sqrt{1 + \frac{r h^2 c^2}{g l p^2}} = \sqrt{1 + \frac{r h^2}{g l \tau^2}}$ den Buchstaben n, so ist

$$a = \frac{np}{l} = \frac{p}{l} \sqrt{1 + \frac{r h^2}{g l \tau^2}}.$$

Da endlich für $u = o$, $\chi = \frac{p}{l}$ sein soll, so muss

$$\frac{p}{l} = a \cos ba = \frac{np}{l} \cos \frac{\pi}{T} a,$$

oder

$$a = \frac{T}{\pi} \operatorname{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right).$$

Nach § 129 war nun die Geschwindigkeit des Punktes m' am Ende der Zeit u:

$$c - rl \frac{d\chi}{du} = c + rlab \sin b\,(u - a).$$

Das Quadrat dieser Geschwindigkeit mit der Masse m' multiplicirt giebt die lebendige Kraft, die der Punkt m' am Ende der Zeit u besitzt gleich:

$$m'\left(c + rlab \sin b\,(u - a)\right)^2,$$

folglich für $u = t$ gleich:

$$m'\left(c + rlab \sin b\,(t - a)\right)^2,$$

wo $a = \frac{np}{l} = \frac{p}{l}\sqrt{1 + \frac{rh^2}{gl\tau^2}}$, $b = \frac{\pi}{T}$ und $\alpha = \frac{T}{\pi} \operatorname{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right)$.

Nun war aber die Geschwindigkeit des Punktes m' im Beginne des Zeitraums t, unmittelbar vor Aufhebung des Beins, nach § 128

$$= (1 - r)\,c,$$

folglich seine lebendige Kraft

$$= m'\,(1 - r)^2\,c^2;$$

die Zunahme an lebendiger Kraft beträgt demnach in dem Zeitraume t

$$m'\left(c + rlab \sin b\,(t - a)\right)^2 - m'\,(1 - r)^2\,c^2.$$

§ 131.

Die lebendige Kraft zu finden, die der Körper in der Zeit τ eines Schritts vom stemmenden Beine erhält.

In Fig. 31 sei b der Fuss, auf dem allein der Körper während des *ersten* Theils der Schrittdauer, der Zeit t, steht; der Mittelpunkt des Körpers bewege sich während dieser Zeit von c nach c_1; d sei die Lage des Mittelpunktes des Körpers am Ende des Zeitraums u, eines variablen Theils der Zeit t (der seit dem Beginne des Schritts verflossen ist, den Anfang des Schritts in den Augenblick gesetzt, wo der Körper auf einem Beine zu stehen kommt, und der Mittelpunkt des Körpers dem Principe der anfänglichen Stellung § 125 gemäss vertikal über dem Punkte liegt, wo sich dieses Bein gegen den Boden stemmt); $cd = x$ sei am Ende des Zeitraums u der Horizontalabstand des Mittelpunktes des Körpers von dem stehen bleibenden Fusse b, oder der von dem Mittelpunkte des Körpers in der Zeit u durchlaufene Weg; endlich $bc = h$ der Vertikalabstand des Mittelpunktes des Körpers d vom stehen bleibenden Fusse b. Da die Streckkraft des Beins bd nach dem Principe der Richtung der Streckung, § 125, die Endpunkte b und d des Beins in gerader Linie von einander zu entfernen sucht, so kann dieselbe nach dem Parallelogramme der Kräfte in eine mit x proportionale Horizontalkraft A, und in eine mit h proportionale Vertikalkraft B für den Augenblick du am Ende des Zeitabschnitts u zerlegt werden. Es ist also

$$A : B = x : h.$$

Bezeichnet g die Schwerkraft des Körpers, so ist nach dem Principe des Maasses der Anstrengung, § 125,

$$B = g,$$

weil der vertikale Theil der Streckkraft der Schwerkraft des Körpers das Gleichgewicht halten soll, folglich

$$A = \frac{gx}{h}.$$

Während des *zweiten* Theils der Schrittdauer, der Zeit $\tau - t$, wirkt auf den Mittelpunkt des Körpers, wie eine ähnliche Betrachtung lehrt, wenn man § 127 berücksichtigt, wonach in dieser Zeit das neu aufgetretene vordere Bein allein gegen den Boden gestemmt wird, die Kraft

$$-\frac{g(p-x)}{h}.$$

Hieraus findet man die Beschleunigung durch die Streckkraft des Beins für den ganzen Zeitraum τ eines Schritts, wenn $x = cu$ gesetzt wird, gleich:

$$\int_0^t \frac{g}{h} cu\,du - \int_t^\tau \frac{g}{h}(p - cu)\,du = \frac{gc}{2h}\tau^2 - \frac{gp}{h}(\tau - t),$$

oder, weil $c = \frac{p}{\tau}$,

$$= \frac{gp}{h}(2t - \tau).$$

Die Geschwindigkeit des Körpers wird aber der Voraussetzung nach durch diese Beschleunigung nicht vermehrt, sondern nur erhalten (siehe § 125). Bei dieser Geschwindigkeit c würde aber eine geringe Beschleunigung γ die lebendige Kraft des Körpers Mc^2 um $2Mc\gamma$ vermehren. Da nun c konstant ist, so giebt die ganze Beschleunigung, mit $2Mc$ multiplicirt, die lebendige Kraft, die der Körper ohne jene Beschleunigung verlieren würde, folglich ist die lebendige Kraft, die der Körper in der Zeit τ eines Schritts vom stemmenden Beine erhält, gleich:

$$\frac{gp}{h}(2t - \tau)\,Mc,$$

wo M die Masse des Körpers bezeichnet, die hier näherungsweise für die Masse des Rumpfes gleich m und die Masse des schwebenden Beins gleich m' genommen werden kann, folglich $M = m + m'$. Da ausserdem $c = \frac{p}{\tau}$ ist, so erhält man durch diese letzten Werthe folgenden Ausdruck für die dem Körper vom stemmenden Beine in der Zeit τ eines Schritts mitgetheilte lebendige Kraft

$$\frac{(m + m')\,gp^2}{h} \cdot \frac{2t - \tau}{\tau}.$$

§ 132.

Das Verhältniss des Theils t der Schrittdauer τ, wo der Körper auf einem Beine steht, zur ganzen Schrittdauer τ zu finden.

Nach § 129 war

$$\frac{dx'}{du} = c - rl \cos\chi \cdot \frac{d\chi}{du}.$$

Diese Gleichung mit du multiplicirt und integrirt giebt

$$x' = cu - rl \sin\chi + C,$$

wo der Werth der Konstanten gleich rp zu setzen ist, damit $x' = o$ für $u = o$, weil $\sin\chi = \frac{p}{l}$ für $u = o$ (siehe § 130). Ausserdem kann nach § 130 χ für $\sin\chi$ geschrieben werden, also

$$x' = cu - rl\chi + rp.$$

Nun ist aber nach § 130:

$$\chi = a \cos b\,(u - a) = \frac{np}{l} \cos\frac{\pi}{T}\,(u - a),$$

folglich

$$x' = cu + rp - rnp \cos\frac{\pi}{T}\,(u - a),$$

oder für $u = t$

$$x' = ct + rp - rnp \cos\frac{\pi}{T}\,(t - a).$$

In Fig. 32 stelle $mm'A$ die Lage des Beins im Augenblicke $u = o$, $m_{\prime}m'_{\prime}C$ die Lage des Beins im Augenblicke $u = t$ dar; so ist

$$mm_{\prime} = ct;\; m'm'_{\prime} = x';\; AC = 2p,$$

und es verhält sich

$$ct : x' : 2p = z : z + r : z + 1,$$

woraus sich, mit Rücksicht auf $c = \frac{p}{\tau}$, ergiebt

$$x' = ct + r\,(2\tau - t)\,c,$$

folglich

$$rp - rnp \cos\frac{\pi}{T}\,(t - a) = r\,(2\tau - t)\,c,$$

oder

$$1 - n \cos\frac{\pi}{T}\,(t - a) = \frac{2\tau - t}{\tau},$$

wonach

$$\frac{t}{\tau} = 1 + n \cos\frac{\pi}{T}\,(t - a).$$

§ 133.

Die Höhe h zu finden, in welcher der Mittelpunkt des Körpers über den Fussboden hingetragen wird.

Durch Gleichsetzung der lebendigen Kraft, welche der Körper in der Zeit t an den schwebenden Fuss abgiebt (in dem übrigen Theile der Schrittdauer, $\tau - t$, findet keine solche Abgabe Statt, weil darin, nach § 128, sowohl der Punkt m, als auch der Punkt m', jener mit der gleichmässigen Geschwindigkeit c, dieser mit der gleichmässigen Geschwindigkeit $(1 - r)\,c$ fortrücken), und der lebendigen Kraft, welche er in der Zeit τ des ganzen Schritts vom stemmenden Beine wieder erhält, wird die Bedingung der konstanten Fortbewegung (siehe § 123) erfüllt, dass nämlich die Bewegungen des Körpers in allen Schritten auf gleiche Weise wiederkehren. Setzt man demnach die Ausdrücke für beide, wie sie §§ 130 und 131 gefunden worden sind, einander gleich, so erhält man

$$m'\left(c + rlab\sin b\,(t - a)\right)^2 - m'(1 - r)^2 c^2 = \frac{m + m'}{h}\,gp^2 \cdot \frac{2t - \tau}{\tau},$$

oder, für a und b ihre Werthe nach § 130 gesetzt,

$$m'\left(c + rnp\frac{\pi}{T}\sin\frac{\pi}{T}(t - a)\right)^2 - m'(1 - r)^2 c^2 = \frac{m + m'}{h}\,gp^2 \cdot \frac{2t - \tau}{\tau},$$

folglich, wenn $\frac{p}{\tau}$ für c, und μ für $\frac{m}{m'}$ gesetzt wird,

$$h = \frac{(\mu + 1)\,g\,(2t - \tau)\,\tau}{\left(1 + rn\tau\frac{\pi}{T}\sin\frac{\pi}{T}(t - a)\right)^2 - (1 - r)^2}.$$

§ 134.

Gesetze des Gehens bei horizontaler Fortbewegung des Rumpfes.

Wir haben folgende Gesetze für die Bewegung der Beine beim Gehen gefunden, nämlich

1. nach § 126

$$h^2 + p^2 = l^2,$$

2. nach § 132

$$\frac{t}{\tau} = 1 + n\cos\frac{\pi}{T}(t - a),$$

3. nach § 133

$$h = \frac{(\mu + 1)\,g\,(2t - \tau)\,\tau}{\left(1 + rn\tau\frac{\pi}{T}\sin\frac{\pi}{T}(t - a)\right)^2 - (1 - r)^2},$$

worin n, a und r, nach § 130,

$$n = \sqrt{1 + \frac{rh^2}{gl\tau^2}},\ a = \frac{T}{\pi}\operatorname{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right),\ r = \frac{g}{l}\frac{T^2}{\pi^2}.$$

Also haben wir so viele Gleichungen, als nöthig sind, um die Schrittlänge p aus der Schrittdauer τ, oder überhaupt von den vier beim Gehen variablen Grössen

$$p,\ \tau,\ h,\ t$$

je drei aus der vierten zu berechnen. Die übrigen in jenen Gleichungen enthaltenen Grössen sind Konstanten und müssen zum Behuf der Anwendung der Theorie im Voraus bestimmt werden.

§ 135.

Ueber die Nothwendigkeit und die Vortheile einer kleinen Senkung des Rumpfes am Ende jedes Schritts beim Menschen.

Die Gesetze des Gehens, die wir so eben, ohne besondere Rücksicht auf Grösse und Gestalt der Gliedmaassen des Menschen aufgestellt haben, gelten unter der Voraussetzung fortwährend horizontaler Bewegung des Mittelpunkts des Körpers. In der Wirklichkeit findet *beim Menschen* nur theilweis diese horizontale Fortbewegung des Mittelpunkts des Körpers Statt, und es fragt sich, ob die, wenn auch kleinen Abweichungen von der horizontalen Linie, die bei jedem Schritte einen Augenblick lang beobachtet werden, nicht etwa wegen der eigenthümlichen Form und Grösse der menschlichen Gliedmaassen zum Gehen wesentlich und nothwendig sind.

Genauere Beobachtungen lehren nämlich, dass gegen Ende jedes Schritts und zwar schon gegen Ende des Zeitraums t, wo der Körper auf einem Beine steht, der Mittelpunkt des Körpers etwas unter die Horizontallinie, in der er sich sonst bewegt, herabsinkt. Wir folgern daraus, dass im letzten Theile der Zeit t, und vor dem Augenblicke, wo das andere Bein auftritt und senkrecht zu stehen kommt, der Körper etwas falle, indem die Streckkraft einen Augenblick zu wirken aufhöre; in dem Augenblicke aber, wo das andere Bein senkrecht zu stehen kommt, wieder eben so viel gehoben werde.

Dieses Herabsinken des Körpers am Ende jedes Schritts ist wirklich nicht blos ein Ergebniss der Beobachtung, sondern wir können die Nothwendigkeit davon nachweisen, und den im Bau des menschlichen Körpers liegenden Grund angeben, warum ohne eine wenigstens geringe Senkung des Rumpfes bei jedem Schritte der Mensch nicht gehen kann, und wie ihm eine solche geringe Senkung das Gehen möglich mache. Es würde nämlich ausserdem der Rumpf bei schnellem Gehen zu sehr beschleunigt werden, und das schwingende Bein würde bei der zu grossen Geschwindigkeit des Rumpfes und bei dem unveränderlichen

Werthe der Schwingungsdauer T in der Zeit t den Rumpf nicht einholen können, wenigstens nicht ohne besondere Verwendung von Muskelkraft, die eben durch das Schwingen des durch seine eigene Schwere getriebenen Beins erspart werden soll.

Betrachten wir nämlich zunächst den Fall *des schnellsten Gehens*, wo $\chi = o$ oder $\tau = t$ ist (siehe § 129), so erhält man durch Substitution dieser Werthe in den Gleichungen des vorhergehenden Paragraphen

$$(1.)\qquad h^2 + p^2 = l^2,$$

$$(2.)\qquad t = \tau = \tfrac{1}{2}T + a,$$

$$(3.)\qquad h = \frac{(\mu + 1)g(\frac{1}{2}T + a)^2}{\left(1 + rn\pi\left[\frac{1}{2} + \frac{a}{T}\right]\right)^2 - (1 - r)^2},$$

$$(4.)\qquad n = \sqrt{1 + \frac{rh^2}{gl(\frac{1}{2}T + a)^2}},$$

$$(5.)\qquad a = \frac{T}{\pi}\operatorname{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right),$$

$$(6.)\qquad r = \frac{g}{l}\frac{T^2}{\pi^2}.$$

Nehmen wir nun beispielsweise

$$T = 0{,}6''; \ \mu = 2{,}4255; \ l = 0{,}95\,\text{m}; \ g = 9{,}811\,63;$$

so ist

$$r = 0{,}3767,$$
$$n = 1{,}2525,$$
$$a = 0{,}1178,$$
$$h = 1{,}5676.$$

Die Möglichkeit des Gehens setzt aber voraus, dass h kleiner ist als l; da nun aber h viel grösser gefunden worden ist, so lässt sich daraus schliessen, dass das Gehen ohne alle Senkung des Körpers (am Ende jedes Schritts) in dem angenommenen Falle, und, wie man leicht übersieht, fast nie bei Menschen möglich sei (wenigstens wenn nicht die Luft oder andere äussere Umstände grossen Widerstand dem Gehenden entgegensetzen). Wäre μ viel kleiner, z. B. $= 1$ (was aber bei keinem Menschen der Fall ist), so würde $h = 0{,}915$ m, folglich kleiner als l sein; dann würde das Gehen ohne Senkung des Körpers am Ende jedes Schritts möglich sein.

Durch eine geringe Senkung des Körpers am Ende jedes Schritts wird aber das Gehen möglich; denn beschleunigt die Streckkraft den Rumpf nicht während der ganzen Zeit t, sondern nur während eines

Theils derselben, und fällt die Wirksamkeit der Streckkraft gerade zu Ende der Zeit t weg, wo sie den Körper am meisten in seiner horizontalen Bahn beschleunigen würde; so sieht man zwar ein, dass der Körper etwas fallen werde, und nachher von dem anderen Beine, wenn es senkrecht steht, wieder gehoben werden müsse, dass aber mit dieser letzteren Wirksamkeit der Streckkraft, weil sie senkrecht ist, keine horizontale Beschleunigung des Körpers verbunden ist, folglich derjenige Theil der Beschleunigung, welcher ohne die Senkung des Körpers zu Ende der Zeit t Statt gefunden haben würde, durch die Senkung des Körpers wirklich wegfällt. Eine solche senkrechte Hebung des Körpers in dem Augenblicke, wo das vordere Bein senkrecht steht, kann von diesem Beine sehr schnell hervorgebracht werden, und zwar nicht allein ohne Störung der horizontalen Bewegung des Körpers, sondern auch, ohne dass der Körper, nachdem er die rechte Höhe wieder erreicht hat, zu steigen fortführe, dadurch, dass die Muskeln des Beins plötzlich steif werden, auf ähnliche Weise, wie man den Arm sehr schnell ausstrecken und plötzlich still halten kann, indem man die Armmuskeln plötzlich steif macht.

Wir wollen diesen letzten Abschnitt der Zeit τ, wo der Körper fällt (unmittelbar vor dem Augenblicke, wo das vordere Bein zur senkrechten Lage gelangt und das hintere aufgehoben wird), mit ϑ bezeichnen. Will man den Einfluss berechnen, den der Wegfall der Streckkraft in der Zeit ϑ hat, so leuchtet ein, dass, wenn $\vartheta \overline{\gtrless} \tau - t$ ist, die Beschleunigung des Körpers durch die Streckkraft des Beins für den ganzen Zeitraum eines Schritts nach § 131 gleich:

$$\int_0^{\tau-\vartheta} \frac{g}{h} cudu = \frac{gc}{2h} (\tau - \vartheta)^2$$

gefunden wird, oder, weil $c = \frac{p}{\tau}$ gleich:

$$\frac{gp}{2h} \cdot \frac{(\tau - \vartheta)^2}{\tau}.$$

Hieraus findet man die lebendige Kraft, die der Körper in der Zeit τ eines Schritts vom stemmenden Beine erhält, wenn man den gefundenen Werth der Beschleunigung mit $2(m + m')c = 2(m + m')\frac{p}{\tau}$ multiplicirt (siehe § 131), d. i. gleich:

$$\frac{m + m'}{h} gp^2 \cdot \frac{(\tau - \vartheta)^2}{\tau^2}.$$

Diesen Werth in § 133 substituirt, findet man

$$m'\left(c + rnp\frac{\pi}{T}\sin\frac{\pi}{T}(t-a)\right)^2 - m'(1-r)^2c^2 = \frac{m+m'}{h}gp^2 \cdot \frac{(\tau-\vartheta)^2}{\tau^2},$$

oder, wenn $\frac{p}{\tau}$ für c, und μ für $\frac{m}{m'}$ gesetzt wird,

$$h = \frac{(\mu+1)g(\tau-\vartheta)^2}{\left(1 + rn\tau\frac{\pi}{T}\sin\frac{\pi}{T}(t-a)\right)^2 - (1-r)^2}.$$

Ferner lässt sich nun aber nicht blos die Nothwendigkeit davon nachweisen, dass der Mensch wegen der eigenthümlichen Verhältnisse seiner Gehwerkzeuge, wenn er keine besonderen äusseren Hindernisse beim Gehen findet, vor dem Ende jedes Schritts (ehe das vordere Bein senkrecht auf den Boden zu stehen kommt, und das hintere aufgehoben wird) den Körper eine kurze Zeit ϑ lang fallen lassen müsse, sondern es lassen sich auch Vortheile nachweisen, welche durch eine rechte Abmessung der Zeit ϑ, wo der Körper fällt, erreicht werden können.

Erstens nämlich kann durch rechte Abmessung der Zeit ϑ, wo der Körper fällt, die Schrittlänge p beträchtlich vergrössert werden, ohne dadurch die nothwendige Senkung des Mittelpunkts des Körpers am Ende jedes Schritts im Vergleich zu seinem Abstande vom Boden beträchtlich zu vergrössern. Man sieht nämlich zunächst leicht ein, dass es nicht blos einen einzigen Werth von ϑ giebt, wo das Gehen möglich ist, sondern dass der Werth von ϑ innerhalb gewisser Grenzen grösser oder kleiner werden könne, ohne der Möglichkeit des Gehens Eintrag zu thun. Es fragt sich sodann, ob von dem Werthe, den ϑ erhält, die Schrittlänge p abhänge, und, wenn dies der Fall ist, welches derjenige Werth von ϑ sei, bei welchem die Schrittlänge möglichst gross sei, dabei aber die Senkung des Mittelpunkts des Körpers im Vergleich zu seinem Abstande vom Boden möglichst klein bleibe. Beides ergiebt sich aus folgender Betrachtung.

Es ist bekannt, dass der Körper in der Zeit ϑ um den Raum $\frac{1}{2}g\vartheta^2$ herabfalle, wo g die Beschleunigung durch die Schwerkraft $= 9{,}81163$ (abgesehen von der im lufterfüllten Raume nothwendigen Korrektion) ist, das Meter und die Sekunde zu Längen- und Zeitmaassen genommen. Der Abstand des Mittelpunkts des Körpers ist daher am Ende jedes Schritts nicht mehr, wie früher, gleich h, sondern gleich:

$$h - \tfrac{1}{2}g\vartheta^2.$$

Nach § 126 bildet aber dieser Vertikalabstand des Mittelpunkts des Körpers vom Boden, wie er am Ende des Schritts ist, mit der Schrittlänge p und mit der Länge l' des gestreckten hinteren Beins ein rechtwinkeliges Dreieck, in welchem l' die Hypotenuse ist (wir bezeichnen

jetzt die Länge des gestreckten Beins mit l', um sie von l zu unterscheiden, welches früher gleich $\sqrt{p^2+h^2}$ angenommen worden ist, was auch ferner geschehen soll. Früher, wo keine Senkung des Mittelpunkts des Körpers angenommen wurde, war die Länge des gestreckten Beins gleich $\sqrt{p^2+h^2}$; dies ist aber jetzt nicht mehr der Fall, und wir müssen daher jetzt zur Bezeichnung der Länge des gestreckten Beins ein besonderes Zeichen einführen). Folglich ist gegenwärtig nach dem pythagoräischen Lehrsatze

$$(h-\tfrac{1}{2}g\vartheta^2)^2+p^2=l'^2,$$

wonach, weil l' gegeben ist, p wächst, wenn $h-\frac{1}{2}g\vartheta^2$ abnimmt.

Den beiden obigen Forderungen, dass nämlich die Schrittlänge möglichst gross und die Senkung des Mittelpunkts des Körpers am Ende jedes Schritts im Vergleiche mit seinem Abstande vom Boden möglichst klein sei, wird nun zugleich möglichst Genüge geleistet, wenn man die Höhe h und deren beide Theile $\frac{1}{2}g\vartheta^2$ und $h-\frac{1}{2}g\vartheta^2$ so einrichtet, dass der letztere Theil der grössere, und das Produkt beider Theile ein Maximum ist. Denn, weil die Senkung des Mittelpunkts des Körpers im Vergleich seines Abstands vom Boden möglichst klein sein soll, muss $\frac{1}{2}g\vartheta^2$ nur ein kleiner Bruch von h, gewiss kleiner, als $\frac{1}{2}h$ sein. Ist aber $\frac{1}{2}g\vartheta^2$ kleiner als $\frac{1}{2}h$, so ist für ein gegebenes h, $h-\frac{1}{2}g\vartheta^2$ desto kleiner (oder p desto grösser), je grösser jenes Produkt ist; desgleichen ist für ein gegebenes $\frac{1}{2}g\vartheta^2$, $\frac{g\vartheta^2}{2h}$ (d. i. die Senkung des Mittelpunkts des Körpers im Vergleiche mit seinem Abstande vom Boden) desto kleiner, je grösser jenes Produkt ist. Beide Bedingungen werden daher zugleich möglichst erfüllt werden, wenn beide Grössen h und $\frac{1}{2}g\vartheta^2$ so gewählt werden, dass jenes Produkt ein Maximum ist. Setzen wir also

$$\tfrac{1}{2}g\vartheta^2(h-\tfrac{1}{2}g\vartheta^2)=\text{Maximum},$$

und substituiren wir darin für h den oben gefundenen Werth

$$h=k(\tau-\vartheta)^2,$$

wo

$$k=\frac{(\mu+1)g}{\left(1+rn\tau\frac{\pi}{T}\sin\frac{\pi}{T}(t-a)\right)^2-(1-r)^2},$$

so erhalten wir

$$\tfrac{1}{2}g\vartheta^2(k(\tau-\vartheta)^2-\tfrac{1}{2}g\vartheta^2)=\text{Maximum}.$$

Daraus wollen wir ϑ für ein gegebenes τ zu berechnen suchen. Wenn aber τ gegeben ist, ist näherungsweise auch k gegeben (was daraus einleuchtet, dass, wie wir oben gefunden haben, $\frac{gp}{2h}\cdot\frac{(\tau-\vartheta)^2}{\tau}=\frac{gp}{2k\tau}$

die horizontale Beschleunigung des Körpers während eines Schritts durch die Streckkraft ist, und diese für eine gegebene Schrittdauer der Schrittlänge nahe proportional sein muss). Wird demnach ausser τ näherungsweise auch k als konstant angenommen, und wird obige Gleichung blos in Beziehung auf ϑ differentiirt, so erhält man

$$k(\tau-\vartheta)^2-k(\tau-\vartheta)\vartheta-g\vartheta^2=0,$$

oder

$$\vartheta=\frac{3-\sqrt{1+4\frac{g}{k}}}{2-\frac{g}{k}}\cdot\frac{\tau}{2}.$$

Zweitens kann durch eine rechte Abmessung der Zeit ϑ, wo der Körper fällt, der Gang bei verschiedenen äusseren Einflüssen von diesen unabhängig gemacht werden, welche Unabhängigkeit von äusseren störenden Einflüssen man wirklich bei allen geübten Gängern beobachtet. Die Zeit ϑ lässt sich nämlich bei verschiedenen äusseren störenden Einflüssen immer so abmessen, dass dieselben durch den Einfluss der Differenzen von ϑ kompensirt werden. Findet nämlich beim Gehen noch ein anderer Widerstand Statt, als der nothwendig damit verbundene, vom Boden herrührende, auf den das stemmende Bein sich stützt, z. B. von Seiten der Luft, wenn sie nicht mit gleicher Geschwindigkeit nach gleicher Richtung, wie der Gehende, sondern in Beziehung auf den Gehenden sich rückwärts oder vorwärts bewegt, so steht es in der Macht des Gehenden, vor dem Ende jedes Schritts den Körper etwas kürzere oder längere Zeit fallen zu lassen, d. i. den Werth von ϑ zu verkleinern oder zu vergrössern, und zwar in solchem Maasse, dass die dadurch bewirkte Vermehrung oder Beschränkung der Wirksamkeit der Streckkraft auf die horizontale Beschleunigung des Körpers, den veränderlichen äusseren Einflüssen, die das Gehen stören würden, jedes Mal das Gleichgewicht halte. Wirklich beobachtet man, dass der Mensch, wenigstens wer zu gehen gewohnt ist, in seinem Gange bei solchen störenden Einflüssen, wenn sie gewisse Grenzen nicht überschreiten, diese Unabhängigkeit beweist. Es sind demnach die menschlichen Gehwerkzeuge auch in der Hinsicht zweckmässig eingerichtet, dass in dem Normalfalle, den wir betrachtet haben, wo keine störende Einwirkung von aussen Statt findet, eine kleine Senkung des Rumpfes am Ende jedes Schritts nothwendig ist, um Einflüsse jeder Art, z. B. Einflüsse des Windes, er mag widrig oder günstig sein, bald durch Verkleinerung, bald durch Vergrösserung der Senkung zu kompensiren. Man sieht leicht ein, dass in ruhender Luft oder bei widrigem Winde eine Verkleinerung, bei günstigem, wenn er schneller ist, als der Gehende fortschreitet, eine Vergrösserung der Senkung erfordert wird, und dies wird wirklich auch beobachtet.

§ 136.

Gesetze des Gehens mit Rücksicht auf die für den Menschen vorteilhafteste Senkung des Körpers am Ende jedes Schritts.

Die Gesetze des Gehens, welche wir bisher mit Rücksicht auf die für den Menschen vorteilhafteste Senkung des Rumpfes am Ende jedes Schritts gefunden haben, sind folgende:

nach § 126 $$h^2 + p^2 = l^2, \qquad (1.)$$

nach § 135 $$(h - \tfrac{1}{2} g \vartheta^2)^2 + p^2 = l'^2, \qquad (2.)$$

nach § 132 $$\frac{t}{\tau} = 1 + n \cos \frac{\pi}{T}(t - a), \qquad (3.)$$

nach § 135 $$h = k(\tau - \vartheta)^2, \qquad (4.)$$

nach § 135 $$\vartheta = \frac{3 - \sqrt{1 + 4\frac{g}{k}}}{2 - \frac{g}{k}} \cdot \frac{\tau}{2}, \qquad (5.)$$

worin nach § 130

$$n = \sqrt{1 + \frac{rh^2}{gl\tau^2}}; \quad a = \frac{T}{\pi} \operatorname{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right),$$

nach §§ 134 und 135

$$r = \frac{g}{l} \cdot \frac{T^2}{\pi^2}; \quad k = \frac{(\mu + 1) g}{\left(1 + rn\tau \frac{\pi}{T} \sin \frac{\pi}{T}(t - a)\right)^2 - (1 - r)^2}.$$

Die Grössen π, g, l', T, μ müssen im Voraus bekannt sein, alle übrigen lassen sich berechnen, wenn eine unter ihnen gegeben ist; denn wir haben 9 Gleichungen für die 10 unbekannten Grössen

$$l,\ h,\ p,\ \tau,\ t,\ \vartheta,\ r,\ n,\ a,\ k.$$

Hieraus ergiebt sich nun z. B. für das schnellste Gehen, wo $\tau = t = \frac{1}{2}T + a$ ist, wenn man für l', T und μ folgende Werthe setzt,

$$l' = 0{,}95 \text{ m}; \quad T = 0{,}6''; \quad \mu = 2{,}4255,$$

dass

$$\begin{aligned} l &= 1{,}011, \\ h &= 0{,}629, \\ p &= 0{,}791, \\ \tau = t &= 0{,}361, \\ \vartheta &= 0{,}145, \\ r &= 0{,}354, \\ n &= 1{,}053, \\ a &= 0{,}061, \\ k &= 13{,}51, \end{aligned}$$

und für eine Zunahme der Schrittdauer um $\frac{1}{100}$ Sekunde ergeben sich folgende Zunahmen von b, h und p, aus denen auch die übrigen leicht abgeleitet werden können,

$$dt = 0{,}0054,$$
$$dh = 0{,}0159,$$
$$dp = -0{,}0057.$$

Wir haben in diesem Beispiele den Werth von T absichtlich etwas kleiner genommen, als wir ihn im vorigen Abschnitte, § 100, durch Versuche mit einem frei herabhängenden, als Pendel schwingenden Beine gefunden haben. Wir haben nämlich dort den Werth von $T = 0{,}693''$ gefunden und haben ihn im gegenwärtigen Beispiele $= 0{,}6''$ gesetzt. Der Grund, warum wir dieses thun mussten, liegt darin, dass, wenn das Bein beim Gehen schwingt, es nicht seiner ganzen Länge nach, wie bei jenen Versuchen, frei herabhängt, sondern zusammengezogen ist, und darum ein weit kürzeres Pendel bildet, als bei den Versuchen § 100, folglich auch weit schneller schwingt. Nun schwingt es zwar beim Gehen, besonders beim schnellsten Gehen, in einem viel grösseren Bogen, als bei jenen Versuchen der Fall war; aber die Beschleunigung der Schwingung durch jene sehr beträchtliche Verkürzung des schwingenden Beins beim Gehen übertrifft weit die Verlangsamung der Schwingung durch die Vergrösserung des Schwingungsbogens. Es ergiebt sich hiernach, dass das Gesetz, welches wir durch die über das Gehen angestellten Messungen gefunden haben, dass nämlich beim schnellsten Gehen die Dauer der Schritte gleich der Dauer einer halben Pendelschwingung des frei herabhängenden Beins sei (siehe § 102), ungeachtet die starke Zusammenziehung des Beins beim Gehen die Schwingungsdauer desselben sehr verkürzt, dadurch zu erklären ist, dass das Bein, wie die Theorie zeigt, vom ersten Augenblicke an, wo es gehoben wird, nicht sogleich vorwärts, sondern erst etwas rückwärts schwingt, und dass die Zeit, die es zu diesem anfänglichen Rückwärtsschwingen braucht, ungefähr so viel beträgt, wie die Zeit, um welche die halbe Schwingungsdauer des Beins durch seine Verkürzung verkleinert wird.

Man sieht ausserdem, dass alle übrigen Erfahrungen, die wir über das Gehen gemacht haben, durch die angeführten Gesetze erklärt werden. Man sieht z. B., dass dadurch erklärt wird,

1. warum die *Schrittdauer* beim Gehen eine Grenze habe, und welche Grenze sie habe,
2. warum die *Schrittlänge* eine Grenze, und welche Grenze sie habe,
3. warum die *Geschwindigkeit* des Gehens eine Grenze habe, und welche Grenze sie habe,
4. warum die *Schrittlänge abnimmt,* wenn die *Schrittdauer zunimmt;*

Rechnet man ferner hierzu, was wir im vorhergehenden Paragraphen nachgewiesen haben, nämlich dass dadurch erklärt wird,

5. warum der Rumpf am Ende jedes Schrittes etwas sinke, und
6. warum diese Senkung des Rumpfes bei jedem Schritte bei widrigem Winde kleiner, bei günstigem grösser sei, und warum man auch beim Wechsel äusserer störender Einflüsse ungestört fortgehen könne,

und fügt man endlich hinzu, dass selbst die absoluten Werthe, die wir näherungsweise aus der Theorie abgeleitet haben, ziemlich mit der Erfahrung übereinstimmen, so scheint aus dieser vielfachen Uebereinstimmung der Theorie und der Erfahrung hervorzugehen, dass jene in den wesentlichsten und wichtigsten Punkten die Mechanik der Gehwerkzeuge naturgemäss darstelle.

§ 137.

Anwendung der Theorie des Gehens zur Bestimmung des Einflusses des Tragens von Lasten auf das Gehen.

Eine besondere Anwendung gestattet noch die in den vorhergehenden Paragraphen aufgestellte Theorie des Gehens, um Aufschluss darüber zu geben, welchen Einfluss das Tragen kleinerer oder grösserer Lasten auf das Gehen hervorbringe. Wir wollen diese Anwendung hier wenigstens im Allgemeinen andeuten. Man sieht nämlich, dass durch das Tragen einer Last die Masse m vergrössert wird, während m' ungeändert bleibt. Dadurch wird also der Werth von $\mu = \frac{m}{m'}$ vergrössert. In der That kann durch Lasten, die beim Gehen noch wenig hinderlich sind, der Werth von μ mehr als um 1 vergrössert werden. Wir haben im vorigen Paragraphen einen mittleren Werth für μ genommen, nämlich $\mu = 2{,}4255$. Nähme man diesen Werth von μ kleiner, so würde die Schrittlänge noch etwas grösser, die Schrittdauer dagegen etwas kleiner werden; das entgegengesetzte würde bei einer grösseren Belastung, wo auch μ grösser wäre, der Fall sein, was ebenfalls mit der Erfahrung übereinstimmt, dass man nämlich, wenn man Lasten trägt, kleinere Schritte und dieselben etwas langsamer macht, als wenn man ganz frei geht.

§ 138.

Anleitung zum Zeichnen gehender Figuren.

Wir haben schon § 121 erwähnt, dass wir unsere Theorie auch durch Zeichnungen geprüft und bestätigt gefunden haben, die wir nach den Regeln dieser Theorie für die verschiedenen Augenblicke eines

Schritts entworfen, und durch einen bekannten Kunstgriff, der von Faraday angegeben und von Stampfer bei den stroboskopischen Scheiben (siehe Poggendorff's Annalen der Physik, Bd. XXII, S. 601, XXXII, 636) benutzt worden ist, in solcher Folge nach und neben einander dem Auge vorgeführt haben, dass dadurch der Eindruck einer gehenden Figur ganz natürlich hervorgebracht wurde. Die Ausführung dieser Zeichnungen, genau nach der Vorschrift der Theorie, würde sehr schwierig gewesen sein, und wir haben für diesen Zweck sowohl, als auch für viele andere Zwecke, wo es darauf ankam, nur von den Hauptmomenten der Theorie eine klare Ansicht zu haben, die § 136 aufgeführten Gesetze dadurch sehr vereinfacht, dass wir den Werth von $n = 1$, $r = 1$ und $\vartheta = 0$ setzten. Zu den angeführten Zwecken, nämlich einfache Regeln, die der Zeichner bei Darstellung gehender Figuren befolgen könne (wozu verwickelte Regeln unbrauchbar sein würden) und zur Uebersicht der Hauptmomente der Theorie, können diese Werthe von n, r und ϑ ihren wahren Werthen näherungsweise substituirt werden, wenn man zugleich auch für die Konstante μ nicht den durch direkte Messung, sondern den aus den Gehversuchen selbst hiernach abgeleiteten Werth nimmt. Alsdann verwandeln sich die Gesetze des Gehens in folgende Gleichungen:

$$h^2 + p^2 = l^2,$$

$$t - \tau = \tau \cos \frac{\pi}{T} t,$$

$$h = \frac{(\mu + 1) g}{\left(1 + \frac{\pi \tau}{T}\right)^2} \tau^2.$$

Nach diesen Gesetzen, die freilich die Theorie nur in ihren Hauptmomenten darstellen, und nur zu gebrauchen sind, wenn man den Werth von μ aus den Gehversuchen selbst bestimmt, haben wir unsere Konstruktionen ausgeführt. Zu einer ausführlichen Anleitung, gehende Figuren zu zeichnen (die uns hier zu weit führen würde), bedarf es ausser den obigen Regeln noch einer genauen Erörterung über die Zusammenziehung des gestreckten Beins, nachdem es vom Boden gehoben worden ist, d. i. eine genaue Erörterung der Beugungen und Streckungen, welche das schwingende Bein successiv in seinen verschiedenen Gelenken erleidet. (Siehe darüber §§ 14—17 und 98.)

Mit den nämlichen Gesetzen, die wir so eben als die Grundlage für eine Anleitung, gehende Figuren zu zeichnen, betrachtet haben, harmoniren auch die meisten Darstellungen im ersten Theile dieser Schrift, welcher zu einer allgemeinen Uebersicht blos der Hauptmomente der Lehre vom Gehen bestimmt war.

Zur Uebersicht der Resultate, welche sich aus diesen so vereinfachten Gesetzen ergeben, diene die folgende Tabelle, welche nach diesen Gesetzen berechnet ist, indem $(\mu + 1) g = 34{,}65$, $T = 0{,}7''$ und $l = 0{,}95$ m gesetzt worden ist.

No.	τ	t	h	p
1.	0,350″	0,350″	0,642 m	0,700 m
2.	0,414″	0,372″	0,727 m	0,611 m
3.	0,422″	0,375″	0,736 m	0,600 m
4.	0,432″	0,378″	0,749 m	0,585 m
5.	0,446″	0,382″	0,765 m	0,564 m
6.	0,465″	0,387″	0,786 m	0,533 m
7.	0,494″	0,395″	0,817 m	0,484 m
8.	0,542″	0,406″	0,864 m	0,395 m

No. 1 und 3 sind in Fig. 12 und 13, No. 1, 3 und 7 in Fig. 14, 15 und 16 bildlich dargestellt.

§ 139.

Ueber eine besondere Art des langsamen Gehens — den gravitätischen Schritt.

Es liegt in der Natur der Sache, dass eine Theorie des Gehens nur von dem schnellen Gehen sich geben lässt, oder dass wenigstens nur bei schnellerem Gehen eine Uebereinstimmung derselben mit der Erfahrung zu erwarten ist, weil nur die beim schnellen Gehen gemachten Erfahrungen unter einander übereinstimmen. Beim langsamen Gehen hängt nämlich zu viel von der Willkür des Gehenden ab, so, dass es in der That nicht möglich ist, alle Fälle, die dabei vorkommen können, gehörig zu scheiden, und alle einzeln zu betrachten. Bei schnellerem Gehen vermindert sich diese Willkür, wenigstens, wenn es mit der mindesten Anstrengung lange Zeit fortgesetzt wird, und es lässt sich dann die Betrachtung des Gehens mit grösserem Rechte auf einen Normalfall, den wir kennen gelernt haben, zurückführen. In der Absicht, die wir hatten, unsere Theorie nur mit den über das schnellere Gehen gemachten Erfahrungen zu vergleichen, haben wir uns zwei Annahmen gestattet, die in der That nur bei schnellerem Gehen zulässig sind, nämlich *erstens*, dass in der Zeit, wo beide Beine auf dem Boden stehen, das vordere Bein stets einen kleineren Winkel mit der Vertikalen mache, als das hintere; *zweitens*, dass die Geschwindigkeit des Mittelpunktes des Körpers während der Dauer eines Schritts nur wenig variire (siehe § 4).

Wollte man auf die Betrachtung des langsamen Gehens eingehen, so müsste man darauf Rücksicht nehmen, dass dann der Winkel, den

das vordere Bein mit der Vertikalen macht, in der Zeit, wo beide Beine auf dem Boden stehen, in manchen Augenblicken selbst grösser, als der Winkel, den das hintere Bein mit der Vertikalen macht, werden könne, was der Betrachtung keine Schwierigkeit entgegenstellt; wohl aber hat dieser Umstand, wenn er eintritt, grossen Einfluss auf die Art des Ganges. Nur bei sehr langsamem Gehen kann der Fall vorkommen, dass das auftretende vordere Bein mit der Vertikalen einen grösseren Winkel, als das hintere Bein in demselben Augenblicke macht. Es muss nämlich dazu das schwingende Bein erst dann auftreten, wenn es fast ganz seine Schwingungsbahn vollendet hat, wozu fast die ganze Zeit T erfordert wird. In dieser langen Zeit muss sich der Mittelpunkt des Körpers nur so wenig fortbewegen, dass er nicht einmal die halbe Schrittlänge zurücklegt. Die ganze Dauer des Schritts muss daher etwa gleich $2T$ werden, d. i. vier Mal grösser, als sie beim schnellsten Gehen ist. Alsdann wird das vordere Bein in dem Augenblicke, wo es auftritt, mit der Vertikalen wirklich einen grösseren Winkel machen, als in diesem Augenblicke der Winkel ist, den das hintere Bein mit der Vertikalen macht. Von diesem Augenblicke an gerechnet wird aber, während der Zeit, wo man auf beiden Beinen steht, der erstere Winkel allmählig abnehmen, während der letztere zunimmt; es wird daher ein Augenblick kommen, wo beide Winkel gleich sind, und nach diesem Augenblicke wird auch in diesem Falle der erstere Winkel kleiner, als der letztere werden, bis er endlich Null wird, oder das vordere Bein zur vertikalen Stellung gelangt, welches dann auch in diesem Falle der Augenblick ist, wo das hintere Bein vom Boden erhoben wird.

Es stelle z. B. Fig. 33 ac das rechte Bein, bc das linke im Beginne eines Schritts, oder in dem Augenblicke dar, wo der Fuss a vom Boden gehoben wird; cc''' sei die Grösse des Schritts, oder der Raum, den der Mittelpunkt des Körpers in der Zeit eines Schritts zurücklegt; c'' sei die Mitte dieses Raums. Würde der Fuss a, welcher zum Beginne des Schritts aufgehoben wurde, in dem Augenblicke, wo der Mittelpunkt des Körpers zur Mitte c'' gelangt, in a' wieder auf den Boden gesetzt, so würden in diesem Augenblicke beide Beine mit der Vertikalen gleiche Winkel machen, oder es würde $\angle b c'' \alpha = \angle a' c'' \alpha$ sein, wenn $c'' \alpha$ die Vertikale durch c'' ist. Soll aber der Winkel des hinteren Beins mit der Vertikalen in diesem Augenblicke kleiner sein, so muss der Mittelpunkt des Körpers in dem Augenblicke, wo das rechte Bein in a' aufgesetzt wird, noch nicht bis zur Mitte c'', sondern nur bis c' gelangt sein. Wenn darauf aber beide Beine stehen bleiben, und der Mittelpunkt des Körpers allmählig von c' bis c'' fortrückt, so werden in dieser Zeit die beiden Winkel einander gleich werden, indem der

Winkel $bc'a'$ zunimmt, und der Winkel $a'c'a'$ abnimmt (wo $c'a'$ die Vertikale durch c' bezeichnet); und wenn darauf der Mittelpunkt des Körpers noch weiter von c'' nach c''' fortrückt, so wird der Winkel $a'c''a$ kleiner als der Winkel $bc''a$ werden, bis der erstere endlich am Ende des Schritts ganz verschwindet.

Man sieht leicht, dass aus diesen Verhältnissen eine sehr gemessene Gangart hervorgehen muss, bei welcher der Körper sehr gerade gehalten und bei jedem Schritte lange Zeit hinter dem auftretenden vorderen Beine zurückbleiben wird; wobei ferner die Dauer der Schritte sehr gross (fast $1^1/_2$ Sekunde), die Länge der Schritte sehr klein und die Geschwindigkeit des Mittelpunktes des Körpers (die im Mittel sehr klein ist) während der Dauer jedes Schritts sehr variiren wird, so, dass bei jedem Schritte ein Augenblick kommt, wo der Körper fast still steht. Man kann diese Gangart zur Unterscheidung der früher betrachteten die gravitätische oder feierliche Gangart, oder den Processionsschritt nennen, während jene der Eilschritt heisse (siehe darüber im ersten Theile § 23).

Theorie des Eillaufs.

§ 140.

Unterscheidung des Laufens vom Gehen.

Von der Betrachtung des Gehens ist es leicht, eine Anwendung auf das Laufen zu machen, sobald der Unterschied, der zwischen beiden Statt findet, im Wesentlichen genau festgestellt ist. Auch beim Laufen gehen wir von dem Grundsatze aus, dass dieselben Bewegungen des Körpers nach jedem Doppelschritte sich wiederholen, und dass beide Beine abwechselnd auf gleiche Weise am Laufe Theil nehmen. Unterschieden sind aber Gehen und Laufen von einander durch den *Zweck*, den man durch sie erreichen will, und die *Mittel*, die man dazu anwendet. Eine *grössere Geschwindigkeit*, als durch Gehen möglich ist, zu erreichen, ist der *Hauptzweck* des Laufens. Aus der vorhergehenden Theorie des Gehens sowohl, als aus der Erfahrung geht nämlich hervor, dass es beim Gehen eine Grenze giebt, sowohl für die Zahl der Schritte in bestimmter Zeit, als auch für ihre Grösse: folglich auch für die Geschwindigkeit des Gehens, welche dem Produkte der Schrittzahl während der Zeiteinheit in die Schrittgrösse gleich ist (siehe §§ 93, 101 und 102, wo diese Grenzen angegeben worden sind).

Was das *Mittel* betrifft, wodurch dieser beim Gehen unerreichbare Zweck durch Laufen möglich wird, so besteht es darin, dass, statt man beim Gehen abwechselnd auf *einem* und auf *zwei* Beinen steht, man

dagegen beim Laufen abwechselnd auf *einem* Beine steht, abwechselnd mit *keinem* Beine aufsteht. Hierin besteht der wesentliche Unterschied zwischen Gehen und Laufen. Und zwar sieht man hieraus sogleich ein, wie jene dem Fussgänger in der Schrittlänge und Schrittzahl gesetzten Grenzen für den Läufer wegfallen. Es leuchtet ein, dass, wenn dem Körper verstattet ist, eine Zeit lang ganz frei in der Luft zu schweben, das hintere Bein vom Fussboden schon früher aufgehoben werden kann, als das schwingende vordere Bein zur vertikalen Lage gelangt, folglich ehe letzteres seine Schwingung halb vollendet hat. Daraus geht hervor, dass die *Schrittdauer* beim Laufen *kleiner* als die halbe Dauer einer Schwingung des Beins sein könne. — Wenn aber in dem Augenblicke, wo das vordere Bein zur senkrechten Lage gelangt und auf den Boden tritt, das hintere Bein schon vom Boden gehoben ist, so leuchtet daraus ferner von selbst ein, dass die *Schrittlänge* beim Laufen *grösser* sein könne, als die Kathete eines rechtwinkeligen Dreiecks, dessen Hypotenuse von der Länge des gestreckten Beins gebildet wird und dessen andere Kathete der Erhebung des Mittelpunktes des Körpers über dem Fussboden gleich ist, wie dies beim Gehen der Fall war. — Man sieht demnach schon hieraus, dass der Hauptzweck des Laufens durch das angegebene Mittel wirklich erreicht werden könne, da durch dieses Mittel die Schrittdauer kleiner, die Schrittlänge grösser als beim Gehen gemacht werden kann, beides aber zur Vermehrung der Geschwindigkeit beiträgt.

Beim Gehen haben wir § 124 den Zeitraum τ eines Schritts in einen Abschnitt t, wo man auf *einem* Beine steht, und in einem Abschnitt $\tau - t$, wo man auf *beiden* Beinen steht, zerfällt: beim Laufen zerfällen wir den Zeitraum τ eines Schritts auf ähnliche Weise in einen Abschnitt t, wo man ebenfalls auf *einem* Beine steht, und in einen Abschnitt $\tau - t$, wo gar *kein* Bein aufsteht.

§ 141.

Kräfte, welche auf das Laufen Einfluss haben.

Aus dem eben entwickelten Unterschiede zwischen Gehen und Laufen ergiebt sich auch ein Unterschied in den Kräften, welche auf das Gehen und Laufen Einfluss haben. Diese Kräfte sind zwar im Allgemeinen, beim Laufen so wie beim Gehen (siehe § 123):

A) die Streckkraft,
B) die Schwerkraft,
C) der Widerstand;

aber beim Gehen, wo man den Fussboden stets wenigstens mit einem Beine berührte, konnte man durch Streckung desselben den Mittelpunkt des Körpers stets am Fallen hindern, d. h. man konnte die Streckkraft so abmessen, dass der Mittelpunkt des Körpers immer in einer und

derselben Horizontalen blieb. (Dass dies gewöhnlich nicht der Fall ist, sondern dass der Mittelpunkt des Körpers auch beim Gehen kurze Zeit in jedem Schritte von der horizontalen Linie abweicht, davon haben wir die Gründe § 135 entwickelt. Gegenwärtig machen wir nur darauf aufmerksam, dass, weil beim Gehen immer wenigstens ein Bein auf dem Boden steht, eine horizontale Fortbewegung des Mittelpunktes des Körpers beim Gehen *möglich* ist, und im grösseren Theile des Schritts, in manchen Fällen sogar immer, Statt findet, z. B. bei widrigem Winde, während eine solche horizontale Fortbewegung des Mittelpunkts des Körpers beim Laufen ganz *unmöglich* ist.) Beim Laufen könnte nun zwar die Streckkraft während der Zeit, wo man auf einem Beine steht, auch so abgemessen werden, dass der Mittelpunkt des Körpers in dieser Zeit ebenfalls in einer und derselben Horizontalen bliebe: da der Mittelpunkt des Körpers aber in dem folgenden Zeitabschnitte, wo kein Bein aufsteht, nothwendig etwas fallen muss, derselbe aber nach Verlauf der ganzen Zeit τ eines Schritts, im Vergleich des Schrittanfangs, weder herabgesunken noch gestiegen sein soll (vorausgesetzt, dass zwischen dem Ende des vorhergehenden und dem Anfang des nachfolgenden Schritts keine momentane Hebung des Mittelpunkts des Körpers eintritt); so folgt, dass er während der Zeit t eben so viel steigen müsse, als er während der Zeit $\tau - t$ fällt, und dass demgemäss die Streckkraft beim Laufen abzumessen sei. Der Mittelpunkt des Körpers beschreibt also beim Laufen nothwendiger Weise eine Wellenlinie, während beim Gehen wenigstens die Möglichkeit vorhanden war, dass er eine gerade, horizontale Linie durchlief.

Hiernach muss also beim Laufen der vertikale Theil der Streckkraft entweder im ersten Augenblicke des Zeitraums t, wo das streckende Bein senkrecht steht, wie ein Stoss wirken, der die fallende Bewegung des Schwerpunktes augenblicklich in eine steigende verwandelt, oder er muss während des ganzen Zeitraums t so gross sein, dass er nicht allein die fallende Bewegung des Schwerpunktes aufhebt, sondern auch ein Aufwärtssteigen hervorbringt, das der gemachten Forderung entspricht, oder es kann sowohl im ersten Augenblick des Zeitraums t ein Stoss, als auch während des ganzen Zeitraums t eine Beschleunigung aufwärts Statt finden, die zusammen der gemachten Forderung entsprechen. In dem letzten Falle, welcher durch die Erfahrung bestätigt wird, kann, je nachdem der Stoss kleiner oder grösser, und zugleich die Beschleunigung grösser oder kleiner angenommen wird (jedoch so, dass sie zusammen immer der Forderung genügen), die Geschwindigkeit aufwärts während der Zeit t entweder zunehmen oder gleichbleiben, oder abnehmen. Wir setzen in der Folge voraus, dass diese Geschwindigkeit gleich bleibe, weil dies das Einfachste ist und nur wenig von der Wahrheit abweichen kann. Unter dieser

Voraussetzung ergiebt sich, dass während der Zeit t der vertikale Theil der Streckkraft (beim Laufen gerade so, wie beim Gehen) der Schwerkraft des Körpers in jedem Augenblicke das Gleichgewicht halte, und dass daher die vertikale Geschwindigkeit des Körpers in dieser Zeit weder vermehrt noch vermindert werde, sondern dass der Körper während des ganzen Zeitraums t gleichförmig mit derjenigen Geschwindigkeit steige, welche ihm im ersten Augenblicke des Zeitraums t durch den Stoss des Beins gegen den Boden ertheilt worden war.

Ist aber hieraus der vertikale Theil der Streckkraft (= der Schwerkraft des Körpers) für jeden Augenblick des Zeitraums t bekannt, so lässt sich daraus auch der horizontale Theil, wenn die Lage des Beins bekannt ist, berechnen. — Der im ersten Augenblick des Zeitraums t stattfindende Stoss des Beins gegen den Boden hat auf die horizontale Bewegung des Körpers keinen Einfluss. — Der Widerstand endlich, den man beim Laufen erleidet, rührt von derselben Quelle her, als der Widerstand, den man beim Gehen erfährt.

§ 142.

Lage des Körpers in einzelnen Augenblicken des Laufens.

Fig. 34 und 35 stellen die gleichzeitige Lage der beiden Füsse und des Mittelpunktes des Körpers in einzelnen Augenblicken des Laufens dar, die erstere auf eine dem Wege parallele Vertikalebene, die andere auf eine dem Wege parallele Horizontalebene projicirt. Der rechte Fuss ist mit a bezeichnet, der linke mit b, der Mittelpunkt des Körpers mit c. $b_{1,2}$ bedeutet, dass während a von a_1 bis a_2 und c von c_1 bis c_2 fortgehen, b im Punkte $b_{1,2}$ stehen bleibe u. s. w. Um zu erkennen, ob ein Bein stehe oder im Schwingen begriffen sei, so ist im ersten Falle in Fig. 34 das Bein so verkürzt dargestellt, dass es nicht bis auf die den Boden darstellende Horizontallinie herabreicht; in Fig. 35 dagegen ist das Schwingen des Beins so dargestellt, als wenn das rechte Bein bei seiner Schwingung etwas auf die rechte Seite vom Wege abwiche, das linke etwas auf die linke Seite. $c_1 c_3 = c_3 c_5 = c_5 c_7$ u. s. w. stellt die Grösse eines Schritts $= p$, $a_1 a_{3.4} = a_{3.4} a_{7.8} = b_{1.2} b_{5.6}$ die Grösse eines Doppelschritts $= 2p$ dar. Die Zeit, welche verfliesst von dem Augenblicke, wo b in $b_{1.2}$ auftritt, bis a in $a_{3.4}$ auftritt, ist die Schrittdauer τ; die Zeit, in der c von c_1 bis c_2 fortrückt, ist die Zeit t, wo der Körper auf einem Beine steht; die Zeit, in der c von c_2 bis c_3 fortrückt, ist die Zeit $\tau - t$, wo der Körper frei in der Luft schwebt; die Zeit, in der c von c_2 bis c_5 fortrückt, ist die Zeit, wo das linke Bein schwingt, und ist grösser als die Schrittdauer τ, in der c blos von c_3 bis c_5 fortrückt. In dem Augenblicke, wo das linke Bein in b_1 auftritt, oder das rechte in a_3, muss das Bein so gegen den Boden stossen,

dass dadurch die fallende Bewegung des Mittelpunktes des Körpers aufgehoben und eine steigende Bewegung hervorgebracht wird. Zu diesem Zwecke muss das Bein in jenem Punkte senkrecht aufgesetzt werden, folglich müssen die Linien $c_1 b_1$, $c_3 a_3$ u. s. w. vertikal sein.

§ 143.

Das Quadrat der Länge des gestreckten Beins ist der Summe der Quadrate des vom Mittelpunkte des Körpers in der Zeit t, wo der Körper auf einem Beine steht, zurückgelegten Wegstücks und des Abstands des Mittelpunktes des Körpers vom Boden am Ende jener Zeit gleich.

Am Ende der Zeit t, wo das Bein, welches bisher gegen den Boden gestemmt wurde, vom Boden aufgehoben wird, bildet die Länge dieses vor der Aufhebung gestreckten Beins mit dem seit dem Beginne des Schritts, oder dem Augenblicke $u = o$ (wo der Mittelpunkt des Körpers vertikal über dem Fusspunkte des stemmenden Beins lag) vom Mittelpunkte des Körpers in horizontaler Richtung zurückgelegten Wege und mit dem Abstande des Mittelpunktes des Körpers vom Boden ein rechtwinkeliges Dreieck, in welchem die Länge des gestreckten Beins die Hypotenuse ist. Fig. 34 stellt $b_2 c_2$ die Länge des gestreckten Beins am Ende der Zeit t, $c_1 d_1 = b_2 d$[1] $= ct$ den vom Mittelpunkte des Körpers in der Zeit t in horizontaler Richtung zurückgelegten Weg, $c_2 d = c_1 b_2 + c_2 d_1 = h + s$ (wo h der Abstand des Mittelpunktes des Körpers vom Boden im Anfange des Schritts, s die Höhe ist, um die sich der Mittelpunkt des Körpers in der Zeit t erhebt), den Abstand des Mittelpunktes des Körpers vom Boden am Ende der Zeit t dar. Da nun $b_2 d c_2$ ein rechter Winkel ist, so ist nach dem pythagoreischen Lehrsatze $(b_2 c_2)^2 = (b_2 d)^2 + (c_2 d)^2$, oder

$$l^2 = c^2 t^2 + (h + s)^2,$$

d. i. das Quadrat der Länge des gestreckten Beins ist der Summe der Quadrate des vom Mittelpunkte des Körpers in der Zeit t zurückgelegten Wegstücks und des Abstands des Mittelpunktes des Körpers vom Boden am Ende jener Zeit gleich.

§ 144.

Die Zeit, welche zwischen der Aufhebung und dem Wiederauftreten eines Beins verfliesst, ist der Summe der Schrittdauer und des Zeitabschnitts der Schrittdauer, wo der Körper ganz frei in der Luft schwebt, gleich.

Beim Eillaufe wird das schwingende Bein in seiner Schwingung durch Auftreten auf den Boden gehemmt, sobald es zur vertikalen Lage

[1]) [Die Punkte d_1 und d fehlen in der Figur. Um dieselben zu erhalten, hat man sich in Fig. 34 von c_2 aus auf die Grundlinie $b_{1,2} b_5$ das Lot gefällt zu denken; der Fusspunkt derselben ist d. Auf diese Linie $c_2 d$ muss man dann noch von c_1 das Lot fällen, welches natürlich parallel der Grundlinie läuft; der Fusspunkt dieses Lotes ist d_1.]

gelangt (siehe § 142). Hieraus folgt, dass am Ende jedes Schritts (in dem Augenblicke, wo entweder das linke oder das rechte Bein senkrecht auf den Boden gesetzt wird) das auftretende Bein, von der grössten Exkursionsweite an gerechnet, seine Schwingung gerade zur Hälfte gemacht hat, und dass daher, von dem Augenblicke der grössten Exkursionsweite, die halbe Zeit verflossen ist, welche das Bein gebraucht hätte, um eine ganze Schwingung zu vollenden. Bezeichnet man die ganze Schwingungsdauer mit T, so ist jener Zeitraum gleich $\frac{1}{2}T$. Rechnen wir aber die Zeit nicht vom Augenblicke der grössten Exkursionsweite, sondern von dem Augenblicke an, wo das Bein vom Boden erhoben wurde, so muss man $\frac{1}{2}T$ noch um einen Zeitraum β vergrössern, welchen das Bein brauchte, um, nachdem es aufgehoben war, bis zur grössten Exkursionsweite zu gelangen. Ohne für jetzt die Grösse von β zu bestimmen, bezeichnen wir den ganzen Zeitraum, wo das Bein in der Luft schwebt, mit $\frac{1}{2}T + \beta$. — Das am Ende des Schritts auftretende Bein war aber nicht blos während der Dauer dieses Schritts, sondern schon vorher von dem Boden erhoben worden, und mit dieser Erhebung begann im vorhergehenden Schritte der Zeitabschnitt, wo der ganze Körper frei in der Luft schwebte. Die Zeit $\frac{1}{2}T + \beta$ umfasst daher nicht blos die Dauer τ eines ganzen Schritts, sondern ausserdem noch denjenigen Abschnitt $\tau - t$ einer Schrittdauer, wo der ganze Körper frei in der Luft schwebt, d. i.

$$\tfrac{1}{2}T + \beta = 2\tau - t,$$

oder es ist die Zeit, welche beim Eillaufe zwischen der Aufhebung und dem Wiederauftreten eines Beins verfliesst, der Summe der Schrittdauer und des Zeitabschnitts, wo der Körper ganz frei in der Luft schwebt, gleich.

Dieser Satz ergiebt sich unmittelbar auch nach § 142 aus der Betrachtung von Fig. 34 und 35; denn es ist die Zeit, in der c von c_2 bis c_5 fortrückt, die Zeit, wo das linke Bein in der Luft schwebt, oder die Zeit, welche von der Aufhebung bis zum Wiederauftreten dieses Beins verfliesst. Diese Zeit zerfällt aber in zwei Abschnitte, nämlich in den Abschnitt, wo c von c_2 bis c_3, und in den Abschnitt, wo c von c_3 bis c_5 fortrückt. Der letztere Abschnitt ist aber die Schrittdauer, während der erstere derjenige Abschnitt der Schrittdauer ist, in welchem kein Bein auf dem Boden steht oder der Körper frei in der Luft schwebt.

§ 145.

Grösse der vertikalen Bewegung des Körpers.

Wenn s die vertikale Erhebung bezeichnet, die der Mittelpunkt des Körpers durch sein gleichförmiges Steigen in der Zeit t erreicht,

so bezeichnet $\frac{s}{t}$ die vertikale Geschwindigkeit, die er in diesem Zeitraume besass. Soll nun der Mittelpunkt des Körpers am Ende des Schritts, ohne eine plötzliche Hebung zu erleiden, wieder eben so hoch liegen, als zu Anfang, so muss er um die Höhe s, um welche er in der Zeit t gestiegen ist, in der übrigen Dauer des Schritts $\tau - t$ wieder fallen. Ein Körper, welcher zu Anfang mit der Geschwindigkeit $\frac{s}{t}$ sich aufwärts bewegt, durchfällt in der Zeit $\tau - t$ den Raum $\frac{1}{2} g (\tau - t)^2 - \frac{s}{t}(\tau - t)$, und dieser Raum soll also gleich s sein, also

$$s = \frac{1}{2} g (\tau - t)^2 - \frac{s}{t}(\tau - t)$$

und hieraus

$$s = \frac{1}{2} g \cdot \frac{t}{\tau} (\tau - t)^2.$$

§ 146.

Grösse des Abstands des Mittelpunktes des Körpers vom Boden im Anfange jedes Schritts.

Wir können für die Bewegungen des schwingenden Beins beim Laufen näherungsweise dieselben Gesetze in Anwendung bringen, welche wir für die Bewegungen des schwingenden Beins beim Gehen § 128 und 129 gefunden haben, nämlich:

1. dass das aufgehobene Bein wie ein Pendel schwingt, das ausser der anfänglichen schiefen Lage auch eine Geschwindigkeit in seiner Kreisbahn rückwärts erhalten hat, die, am unteren Endpunkte des Beins gemessen, der nach der Tangente der Kreisbahn geschätzten Geschwindigkeit des Rumpfes gleich ist (siehe § 128);
2. dass die Geschwindigkeit des Punktes m', in welchem die Masse des Beins koncentrirt gedacht wird, in dem Augenblicke, wo es wieder auf den Boden tritt, nahe der Summe der horizontalen Geschwindigkeit c des Rumpfes m und der zur Ablenkung des Beins in diesem Augenblicke gehörigen Pendelgeschwindigkeit gleich ist (siehe § 129).

Ferner können wir die § 130 für's Gehen aufgestellte Gleichung auch auf das Laufen anwenden, nämlich

$$g\chi = -rl \cdot \frac{d^2\chi}{du^2},$$

wo denn

$$\chi = a \cos b (u - \alpha),$$

$$\frac{d\chi}{du} = -ab \sin b (u - \alpha),$$

$$\frac{d^2\chi}{du^2} = -ab^2 \cos b(u-a) = -b^2\chi = -\frac{g}{rl}\chi,$$

folglich $b^2 = \frac{g}{rl}$. Setzt man dann

$$T = \pi\sqrt{\frac{rl}{g}} = \frac{\pi}{b},$$

so ergiebt sich, wie in § 130, dass T die Schwingungsdauer ist. Nun sei in Fig. 36, am Ende der Zeit t, $b_2c_2 = l$ die Länge des gestreckten Beins, $c_2d = h$ der Abstand des Mittelpunktes des Körpers vom Boden, $b_2d = ct$ das vom Mittelpunkte des Körpers in der Zeit t zurückgelegte Wegstück; ferner stelle die Linie $c_2\gamma$ die Geschwindigkeit des Mittelpunktes des Körpers der Grösse und Richtung nach dar. Wird diese Geschwindigkeit nach dem Parallelogramme der Geschwindigkeiten in eine horizontale $c_2\gamma_1 = c$ und in eine vertikale $\gamma\gamma_1 = \frac{s}{t}$ zerlegt, so findet man, wenn man die Perpendikel $\gamma_1\delta$ und $\gamma\delta_1$ auf b_2c_2 und $\gamma\varepsilon$ auf $\gamma_1\delta$ fällt, dass $\gamma\delta_1 = \gamma_1\delta - \gamma_1\varepsilon$, d. i. die Geschwindigkeit des Körpers nach der Tangente der Kreisbahn des aufgehobenen schwingenden Beins (senkrecht auf dessen Länge) geschätzt, gleich $(h-s)\frac{c}{l}$ sei, oder nach obigem Satze (1.) gleich der Geschwindigkeit, welche das aufgehobene Bein in seiner Kreisbahn rückwärts besitzt, folglich ist für $u = t$

$$l\frac{d\chi}{du} = (h-s)\frac{c}{l},$$

oder

(1.) $$\frac{d\chi}{du} = (h-s)\frac{c}{l^2} = -ab \sin b(t-a).$$

Zugleich ist für $u = t$

$$\sin\chi = \frac{ct}{l},$$

folglich, wenn nach § 130 χ für sin χ gesetzt wird,

(2.) $$\chi = \frac{ct}{l} = a \cos b(t-a).$$

Multiplicirt man die letztere Gleichung mit b und addirt zu ihrem Quadrate das Quadrat der Gleichung (1.), so findet man

$$\left(\frac{bct}{l}\right)^2 + (h-s)^2\frac{c^2}{l^4} = a^2b^2,$$

oder, wenn $\frac{g}{rl}$ für b^2 gesetzt und damit dividirt wird,

$$\left(\frac{ct}{l}\right)^2 + (h-s)^2\frac{rc^2}{gl^3} = a^2$$

und hieraus

$$a = \frac{ct}{l}\sqrt{1+\frac{r(h-s)^2}{glt^2}} = \frac{nct}{l},$$

wenn

$$n = \sqrt{1+\frac{r(h-s)^2}{glt^2}};$$

folglich

$$\chi = \frac{ct}{l} = \frac{nct}{l}\cos\frac{\pi}{T}(t-a),$$

oder

$$t-a = \frac{T}{\pi}\operatorname{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right).$$

Dieses schwingende Bein tritt nun nach § 142 wieder auf den Boden, sobald es zur vertikalen Lage gelangt, d. i. sobald

$$\chi = 0 = \frac{nct}{l}\cos\frac{\pi}{T}(u-a).$$

Folglich ist dann

$$u = \tfrac{1}{2}T + a$$

und folglich der Zeitraum, wo das Bein schwingt (siehe § 144),

$$\tfrac{1}{2}T + a - t = \tfrac{1}{2}T + \beta,$$

oder

$$\beta = a - t = \frac{T}{\pi}\operatorname{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right).$$

Nach dem obigen Satze (2) ist aber die Geschwindigkeit des Punktes m' im Augenblicke, wo das Bein wieder auf den Boden tritt, d. i. für $u = \frac{1}{2}T + a$ gleich:

$$c - rl\frac{d\chi}{du} = c + rabl\sin b\,(u-a),$$

folglich, wenn für a, b und u ihre Werthe gesetzt werden, gleich:

$$\left(1 + rnt\frac{\pi}{T}\right)c.$$

Das Quadrat dieser Geschwindigkeit mit der Masse m' multiplicirt, giebt die lebendige Kraft, die der Punkt m' im Augenblicke des Auftretens besitzt, gleich:

$$= m'\left(1 + rnt\frac{\pi}{T}\right)^2 c^2.$$

Die lebendige Kraft, die er im Augenblicke vor seiner Aufhebung

besass, war, da in jenem Augenblicke seine horizontale Geschwindigkeit gleich $(1-r)c$, seine vertikale Geschwindigkeit gleich $(1-r)\frac{s}{t}$ war, gleich:

$$m'(1-r)^2\left(c^2+\frac{s^2}{t^2}\right),$$

wofür, weil $\frac{s}{t}$ sehr klein ist, auch gesetzt werden kann

$$m'(1-r)^2 c^2.$$

Die lebendige Kraft, welche der Punkt m während der Zwischenzeit t an den Punkt m' abgegeben hat, ist also gleich:

$$m'\left(1+rnt\frac{\pi}{T}\right)^2 c^2 - m'(1-r)^2 c^2.$$

Da ferner die Streckkraft des Beins $b_2 c_2$, Fig. 36, die Endpunkte b_2 und c_2 des Beins in gerader Linie von einander zu entfernen strebt, so werden, wenn man dieselbe in eine Horizontalkraft A und in eine Vertikalkraft B zerlegt, diese Seitenkräfte der Linie $b_2 d = cu$ und der Linie $c_2 d = h + \frac{s}{t}u$ proportional sein, d. i.

$$A:B = cu : h + \frac{s}{t}u.$$

Nun ist aber $B = g$ nach § 141, folglich

$$A = \frac{gcu}{h+\frac{s}{t}u},$$

oder die Beschleunigung, welche der Punkt m im Augenblicke du am Ende der Zeit u in horizontaler Richtung erhält,

$$Adu = \frac{gcudu}{h+\frac{s}{t}u}.$$

Diese Beschleunigung wird demnach für den ganzen Zeitraum von $u = o$ bis $u = t$ betragen

$$\int_o^t Adu = \int_o^t \frac{gcudu}{h+\frac{s}{t}u} = \frac{gct^2}{s^2}\left(s - h\log\left[1+\frac{s}{h}\right]\right).$$

Oder setzt man, weil s sehr klein ist, $\frac{s}{h} - \frac{s^2}{2h^2} + \frac{s^3}{3h^3}$ für $\log\left(1+\frac{s}{h}\right)$, so ist

$$\int_0^t A\,du = \frac{gct^2}{h}\left(\frac{1}{2} - \frac{s}{3h}\right).$$

Wird diese Beschleunigung mit $2(m+m')c$ multiplicirt, so findet man die lebendige Kraft, welche der Körper in der Zeit t durch die Streckkraft des stemmenden Beins mitgetheilt erhält (siehe § 131), gleich:

$$(m+m')\frac{gc^2t^2}{h}\left(1 - \frac{2s}{3h}\right).$$

Wird nun die lebendige Kraft, welche der Körper in der Zeit t, wo das Bein stemmt, durch die Streckkraft des Beins erhält, der lebendigen Kraft gleichgesetzt, die er während der Zeit $\frac{1}{2}T+\beta$, wo das Bein schwingt, an das schwingende Bein abgiebt, so wird die Bedingung des gleichförmigen Fortgangs erfüllt und gefunden

$$(m+m')\frac{gc^2t^2}{h}\left(1 - \frac{2s}{3h}\right) = m'\left(1 + rnt\frac{\pi}{T}\right)^2 c^2 - m'(1-r)^2c^2$$

und, wenn man μ für $\frac{m}{m'}$ setzt,

$$h = \frac{(\mu+1)gt^2\left(1 - \frac{2s}{3h}\right)}{\left(1 + rnt\frac{\pi}{T}\right)^2 - (1-r)^2}.$$

§ 147.

Gesetze des Eillaufs ohne eine plötzliche Hebung des Körpers im Augenblicke des Auftretens.

Wir haben unter der § 145 gemachten Voraussetzung, dass der Körper im Augenblicke des Auftretens keine plötzliche Hebung erleide, folgende Gesetze für den Eillauf gefunden, nämlich

nach § 143 $\quad (h+s)^2 + c^2t^2 = l^2, \quad$ (1.)

nach § 144 $\quad \frac{1}{2}T + \beta = 2\tau - t, \quad$ (2.)

nach § 145 $\quad s = \frac{1}{2}g\,.\,\frac{t}{\tau}(\tau - t)^2, \quad$ (3.)

nach § 146 $\quad h = \frac{(\mu+1)gt^2\left(1 - \frac{2s}{3h}\right)}{\left(1 + rnt\frac{\pi}{T}\right)^2 - (1-r)^2}, \quad$ (4.)

$\beta = \frac{T}{\pi}\operatorname{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right), \quad$ (5.)

(6.) $$n = \sqrt{1 + \frac{r(h-s)^2}{glt^2}},$$

wo nach § 130 $$r = \frac{g}{l} \cdot \frac{T^2}{\pi^2}.$$

Wir haben also für den Eillauf so viele Gleichungen gefunden, als nöthig sind, um die horizontale Geschwindigkeit c aus der Schrittdauer τ, oder überhaupt alle beim Laufen variabelen Grössen aus einer zu berechnen. Es sind nämlich beim Laufen folgende sieben variabele Grössen

$$h,\ s,\ \tau,\ t,\ c,\ \beta,\ n,$$

und wir haben sechs Gleichungen für diese sieben Grössen gefunden. Da übrigens $c = \frac{p}{\tau}$ ist, so kann hiernach auch die Schrittlänge p berechnet werden.

§ 148.

Die Gesetze für den Eillauf fallen mit denen des Gehens zusammen, wenn beim Laufen der Zeitraum, wo der Körper in der Luft schwebt, beim Gehen der Zeitraum, wo der Körper auf beiden Beinen steht, verschwindet.

Für den Fall, dass der Zeitraum, wo der Körper in der Luft schwebt, $\tau - t$, verschwindet, verwandeln sich unsere Gleichungen in die, welche § 135 für das schnellste Gehen gefunden worden sind, woraus in Uebereinstimmung mit der Erfahrung hervorgeht, dass die Bewegungen beim Gehen und Laufen in allen Beziehungen der Gleichheit desto näher kommen, je kleiner beim Gehen der Zeitraum $\tau - t$, wo der Körper auf beiden Beinen steht, und je kleiner beim Laufen der Zeitraum $\tau - t$ wird, wo der Körper mit keinem Beine aufsteht, und dass, wenn diese beiden Zeiträume ganz verschwinden, beide Bewegungsarten identisch sind. Es werden nämlich obige Gleichungen, wenn $\tau - t = o$

$$h^2 + p^2 = l^2,$$

$$\tfrac{1}{2}T + \beta = \tau = t,$$

$$h = \frac{(\mu + 1)\, g\, (\frac{1}{2}T + \beta)^2}{\left(1 + rn\pi\left[\frac{1}{2} + \frac{\beta}{T}\right]\right)^2 - (1-r)^2},$$

und es ist darin $\beta = \frac{T}{\pi} \operatorname{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right)$,

$$n = \sqrt{1 + \frac{rh^2}{gl(\frac{1}{2}T + \beta)^2}}$$

und $r = \frac{g}{l} \cdot \frac{T^2}{\pi^2}$, welches die nämlichen Gleichungen wie § 135 sind, wenn man β an die Stelle von α setzt.

§ 149.

Senkung des Körpers im letzten Theile der Zeit t und plötzliche Hebung desselben im Augenblicke des Auftretens beim Menschen.

Wir haben oben § 135 beim Gehen gesehen, dass die dort aufgestellten Gesetze des Gehens auf den Menschen keine unmittelbare Anwendung finden konnten, wegen des eigenthümlichen Baues seiner Glieder. Die Beine müssten ein viel grösseres Gewicht haben, im Vergleiche zum übrigen Körper, wenn diese Gesetze beim Menschen unmittelbar Anwendung finden sollten, weil in diesen Gesetzen die Voraussetzung liegt, dass h kleiner sei, als l; nach der dritten Gleichung aber wird h, wenn man für μ, l und T dem menschlichen Körper entsprechende Werthe setzt, grösser als l gefunden. Wir haben § 135 gezeigt, dass darum nöthig war, dass der Mensch beim Gehen den Obertheil des Körpers am Ende der Zeit t etwas fallen lasse, und im Augenblicke, wo das vordere Bein senkrecht steht, wieder um gleich viel hebe. Dasselbe muss nun auch beim Laufen geschehen, wenn $\tau - t$, oder die Zeit, wo man auf keinem Beine aufsteht, nicht gross sein soll. Vergrössert man aber den Werth von $\tau - t$ (wobei t kleiner, s grösser wird), so gelangt man bald zu einem Werth von h (weil h sehr schnell abnimmt, wenn t abnimmt und s zunimmt), der zwar gross, bei dem aber das Laufen möglich ist. Alsdann ist die Schrittlänge viel kleiner und die Schrittdauer wenig kleiner, als beim schnellsten Gehen. Nimmt der Zeitraum $\tau - t$ noch mehr zu, so wächst die Schrittlänge sehr schnell, während die Schrittdauer sich nur wenig ändert, was mit der Erfahrung übereinstimmt, wenn das Laufen viel langsamer, als das schnellste Gehen geschieht. Soll aber das Laufen eben so schnell, wie das schnellste Gehen, oder noch schneller geschehen, so wird eine ähnliche Senkung des Körpers bei jedem Schritte, wie sie beim Gehen Statt fand, nothwendig, um eine Vergrösserung der Schritte zu gestatten. Alsdann ist das Laufen wie eine Fortsetzung des Gehens mit immer steigender Geschwindigkeit anzusehen. Ohne jene Senkung des Körpers, ohne welche das *Gehen* gar nicht möglich war, kann zwar das *Laufen* Statt finden, aber es entspricht dann nicht einer Fortsetzung des Gehens mit steigender Geschwindigkeit, sondern gleicht dem langsameren Gehen in der Grösse der Schrittlänge, wiewohl die Schrittdauer viel kleiner ist, als beim natürlichen langsamen Gehen und sich mehr wie die Schrittdauer bei dem Geschwindschritte verhält, welchen wir § 108 durch Versuche kennen gelernt haben.

Nehmen wir also an, dass der Körper schon im letzten Theile ϑ der Zeit t zu fallen beginne, indem das auf dem Boden stehende hintere Bein zu stemmen aufhört, jedoch ohne den Boden vor dem Ende der Zeit t (wo es in gestreckter Lage sich befindet) zu verlassen, und bezeichnen wir die Höhe, um welche der Punkt m in der Zeit $t-\vartheta$ steigt, mit s', so ist nach § 141

$$\frac{s'}{t-\vartheta}=\frac{s}{t}.$$

Da der Körper jetzt von $u=t-\vartheta$ bis $u=t$, also während der Zeit ϑ fällt, so wird er am Ende der Zeit t um $\frac{1}{2}g\vartheta^2$ niedriger stehen als sonst der Fall sein würde; sein Abstand vom Boden wird daher am Ende der Zeit t statt $h+s$ jetzt blos $h+s-\frac{1}{2}g\vartheta^2$ sein. Dieser Abstand, der in der Zeit t vom Punkte m in horizontaler Richtung zurückgelegte Weg ct und die Länge des gestreckten Beins l' schliessen dann ein rechtwinkeliges Dreieck ein, in dem l' die Hypotenuse ist, folglich

$$(h+s-\tfrac{1}{2}g\vartheta^2)^2+c^2t^2=l'^2.$$

Wir bezeichnen jetzt die Länge des gestreckten Beins mit l', um sie von l zu unterscheiden, für das auch jetzt noch, wie früher, die Gleichung gelten soll

$$(h+s)^2+c^2t^2=l^2.$$

Da der Körper jetzt schon in dem Augenblicke $u=t-\vartheta$ zu fallen beginnt, während er früher erst im Augenblicke $u=t$ zu fallen begann, so wird er bis zu Ende des Schritts, oder bis zu dem Augenblicke $u=\tau$ um ein Stück a tiefer herabsinken. Er fällt nämlich jetzt in der Zeit $\tau-t+\vartheta$, mit Berücksichtigung der Geschwindigkeit $\frac{s}{t}$ aufwärts, die er anfangs hat, um

$$\tfrac{1}{2}g(\tau-t+\vartheta)^2-\frac{s}{t}(\tau-t+\vartheta)=s'+a;$$

weil er nämlich von $u=o$ bis $u=t-\vartheta$ nur um s' gestiegen war, so braucht er, um zu seiner ursprünglichen Höhe zurückzukehren, auch nur um s' wieder zu fallen. Da er jetzt aber längere Zeit fällt, so fällt er tiefer herunter, und dieses Stück, um welches er jetzt tiefer fällt, haben wir a genannt. Da $s'=\frac{t-\vartheta}{t}s$ ist, so ergiebt sich

$$\tfrac{1}{2}g(\tau-t+\vartheta)^2-\frac{s}{t}(\tau-t+\vartheta)=\frac{t-\vartheta}{t}s+a$$

oder

$$a = \tfrac{1}{2} g (\tau - t + \vartheta)^2 - \frac{s}{t} \tau,$$

worin s seinen früheren Werth (siehe § 145) beibehalten hat,

$$s = \tfrac{1}{2} g \frac{t}{\tau} (\tau - t)^2,$$

wonach also

$$a = \tfrac{1}{2} g (\tau - t + \vartheta)^2 - \tfrac{1}{2} g (\tau - t)^2 = g (\tau - t) \vartheta + \tfrac{1}{2} g \vartheta^2.$$

Zur Bestimmung von ϑ stellen wir beim Laufen die nämliche Bedingung, wie § 135 beim Gehen, nämlich

$$a (h - a) = \text{Maximum}.$$

Um hieraus ϑ zu bestimmen, müssen wir vorher den Werth von h finden.

Die Beschleunigung in horizontaler Richtung, welche der Körper durch die Streckkraft des stemmenden Beins in der Zeit $t - \vartheta$ erhält, ist nach § 146

$$\int_0^{t-\vartheta} A du = \int_0^{t-\vartheta} \frac{g c u du}{h + \frac{s}{t} u} = \frac{g c t^2}{s^2} \left(s' - h \log \left[1 + \frac{s'}{h} \right] \right).$$

Setzt man, weil s' sehr klein ist, $\frac{s'}{h} - \frac{s'^2}{2h^2} + \frac{s'^3}{3h^3}$ an die Stelle von $\log \left(1 + \frac{s'}{h} \right)$ und berücksichtigt, dass $s' = \frac{t - \vartheta}{t} s$ ist, so findet man

$$\int_0^{t-\vartheta} A du = \frac{g c (t - \vartheta)^2}{2h} \left(1 - \frac{2s'}{3h} \right).$$

Wird dieser Ausdruck mit $2 (m + m') c$ multiplicirt, so erhält man nach § 131 die lebendige Kraft, die dem Körper in der Zeit $t - \vartheta$ durch das stemmende Bein mitgetheilt wird, gleich:

$$\frac{(m + m') g c^2 (t - \vartheta)^2}{h} \left(1 - \frac{2s'}{3h} \right).$$

Setzt man diese der lebendigen Kraft gleich, welche der Körper an das schwingende Bein abgiebt, und die, wie früher (siehe § 146), gleich:

$$m' \left(1 + r n t \frac{\pi}{T} \right)^2 c^2 - m' (1 - r)^2 c^2$$

ist, so findet man, wenn μ für $\frac{m}{m'}$ gesetzt wird,

$$h = \frac{(\mu+1)\,g\,(t-\vartheta)^2\left(1-\frac{2s'}{3h}\right)}{\left(1+rnt\frac{\pi}{T}\right)^2-(1-r)^2}.$$

Hiernach ergiebt sich nun auch der Werth von ϑ, wenn man diesen Werth von h in die obige Gleichung

$$a\,(h-a) = \text{Maximum}$$

substituirt. Es sei

$$k = \frac{(\mu+1)\,g\left(1-\frac{2s'}{3h}\right)}{\left(1+rnt\frac{\pi}{T}\right)^2-(1-r)^2},$$

folglich $h = k\,(t-\vartheta)^2$,

und k werde näherungsweise, zur Bestimmung von ϑ, als konstant betrachtet, wie es § 135 beim Gehen geschehen ist, so findet man, wenn für a sein obiger Werth

$$a = g\,(\tau-t)\,\vartheta + \tfrac{1}{2}g\vartheta^2$$

substituirt wird, zur Bestimmung von ϑ folgende Gleichung

$$k\,(t-\vartheta)^2\,\vartheta - k\,(t-\vartheta)\,\vartheta^2 - g\vartheta^3 + \gamma\,(\tau-t) = 0,$$

wo

$$\gamma = k\,(t-2\vartheta)^2 - 2g\,(\tau-t)\,\vartheta - (3g-2k)\,\vartheta^2.$$

§ 150.

Gesetze des Eillaufs mit Rücksicht auf die beim Menschen vortheilhafteste Hebung des Körpers im Augenblicke des Auftretens.

Mit Rücksicht auf die beim Menschen vortheilhafteste Hebung des Körpers im Augenblicke des Auftretens haben wir folgende Gleichungen für die Bewegungen beim Eillauf gefunden:

(1.) $$(h+s)^2 + c^2t^2 = l^2,$$

(2.) $$(h+s-\tfrac{1}{2}g\vartheta^2)^2 + c^2t^2 = l'^2,$$

(3.) $$\tfrac{1}{2}T + \beta = 2\tau - t$$

(4.) $$s = \tfrac{1}{2}g\frac{t}{\tau}(\tau-t)^2,$$

(5.) $$h = \frac{(\mu+1)\,g\,(t-\vartheta)^2\left(1-\frac{2s'}{3h}\right)}{\left(1+rnt\frac{\pi}{T}\right)^2-(1-r)^2},$$

$$k(t-\vartheta)^2\vartheta - k(t-\vartheta)\vartheta^2 - g\vartheta^3 + (\tau - t)\gamma = 0, \tag{6.}$$

$$\gamma = k(t-2\vartheta)^2 - 2g(\tau-t)\vartheta - (3g-2k)\vartheta^2, \tag{7.}$$

$$\beta = \frac{T}{\pi}\,\mathrm{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right), \tag{8.}$$

$$n = \sqrt{1 + \frac{r(h-s)^2}{glt^2}}, \tag{9.}$$

$$r = \frac{g}{l}\cdot\frac{T^2}{\pi^2}, \tag{10.}$$

$$s = \frac{t}{t-\vartheta}s'. \tag{11.}$$

Für $\tau - t = 0$ verwandeln sich diese Gleichungen in die § 136 für das Gehen, mit Rücksicht der beim Menschen vortheilhaftesten Senkung des Körpers bei jedem Schritte, gefundenen Gleichungen, wenn sie auf den Fall schnellsten Gehens angewendet werden, nämlich:

$$l^2 = h^2 + p^2,$$

$$l'^2 = (h - \tfrac{1}{2}g\vartheta^2)^2 + p^2,$$

$$\tau = t = \tfrac{1}{2}T + \beta,$$

$$h = k(\tfrac{1}{2}T + \beta - \vartheta)^2,$$

$$\vartheta = \frac{3 - \sqrt{1 + 4\frac{g}{k}}}{2 - \frac{g}{k}}\cdot\frac{\frac{1}{2}T + \beta}{2},$$

$$k = \frac{(\mu + 1)g}{\left(1 + rn\pi\left[\frac{1}{2} + \frac{\beta}{T}\right]\right)^2 - (1-r)^2},$$

$$\beta = \frac{T}{\pi}\,\mathrm{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right),$$

$$n = \sqrt{1 + \frac{rh^2}{gl(\frac{1}{2}T + \beta)^2}},$$

$$r = \frac{g}{l}\frac{T^2}{\pi^2}.$$

In den beiden ersten Gleichungen ist für $ct = c\tau$ die Schrittlänge p gesetzt worden. Durch Substitution der dem menschlichen Körper angemessenen Werthe von μ, l und T, wie sie § 136 angegeben worden sind, würde auch dieselbe Schrittlänge, Schrittdauer und alle übrigen Grössen gerade so wie in § 136 gefunden werden. Wächst aber $\tau - t$, so wächst auch die Schrittlänge sehr schnell, während die Schrittdauer sehr wenig abnimmt, ganz in Uebereinstimmung mit den über das

Laufen gemachten Erfahrungen, wenn das Laufen schneller als das schnellste Gehen ist. Für sehr langsames Laufen dagegen haben wir schon im vorigen Paragraphen gesehen, dass gar keine Senkung der Art, wie beim Gehen nothwendig ist, statt zu finden braucht, und dass auch dann die Theorie mit der Erfahrung übereinstimmt. Man übersieht aber leicht, dass, wenn das Laufen langsamer als das schnellste Gehen geschieht (was immer weniger natürlich ist, weil man mit gleicher Geschwindigkeit und grösserer Bequemlichkeit statt dessen gehen kann), in der Willkür des Laufenden stehe, entweder ϑ zu verkleinern, oder $\tau - t$ zu vergrössern, wodurch eine grössere Mannigfaltigkeit beim langsamen, als beim schnellen Laufen herbeigeführt wird. Beim langsameren Laufen kann entweder $\tau - t$ immer gleich 0 sein und ϑ abnehmen, oder es kann $\vartheta = 0$ sein, wenn nur $\tau - t$ beträchtlich grösser als Null ist, oder die Werthe von ϑ und $\tau - t$ können zugleich variabel sein. In allen Fällen aber wird die Erfahrung bestätigt, dass beim langsamen Laufen die Schrittlänge sehr wachsen und abnehmen kann, ohne dass die Schrittdauer merkliche Aenderungen erleidet, und zwar ist die Schrittdauer dabei höchstens so gross, wie beim schnellsten Gehen, in der Regel aber etwas kleiner. — Die Theorie des Laufens erklärt also die hauptsächlichsten über das Laufen gemachten Erfahrungen, dass nämlich bei der Schnelligkeit des schnellsten Gehens zwischen Laufen und Gehen gar kein Unterschied gefunden wird, dass bei schnellerem Laufen die Schrittlänge schnell wächst, während die Schrittdauer langsam abnimmt, dass bei langsamerem Laufen die Schrittlänge schnell abnimmt, während die Schrittdauer ebenfalls nur wenig variirt, und zwar, wenn sie variirt, kleiner ist, als die beim schnellsten Gehen.

Theorie des Sprunglaufs.

§ 151.

Unterscheidung des Sprunglaufs vom Eillaufe.

Wir wollen nicht das Springen *mit beiden Beinen zusammen* (sei es, dass das eine Bein das andere blos begleitet, oder dass beide Beine gleichmässig zum Springen beitragen) betrachten, wo entweder nur ein einziger Sprung gemacht wird, oder, wenn deren mehrere nach einander gemacht werden, je zwei stets durch eine Pause geschieden sind, und auch von verschiedener Grösse und Dauer sein können. Wir wollen das Springen *von einem Beine auf das andere* betrachten, das längere Zeit ununterbrochen und gleichmässig fortgesetzt wird. Dieses

gleichmässig fortgesetzte Springen von einem Beine auf das andere bezeichnen wir mit dem Namen des *Sprunglaufs*, zum Unterschiede von der vorher betrachteten Art zu laufen, die wir den *Eillauf* genannt haben.

Wir unterscheiden den Eillauf und Sprunglauf von einander durch den *Zweck*, den man durch sie erreichen will, und durch die Art und Anwendung der *Mittel*, die zu diesem Zwecke führen. Möglichst grosse Schritte in möglichst kleiner Zeit zu machen, sagen wir, sei der Hauptzweck des Eillaufs; möglichst grosse Schritte in möglichst langer Zeit zu machen, sei der Hauptzweck des Sprunglaufs. Es liegt in der Natur der Sache, dass, wenn man nur grosse Schritte machen will (wenn man nicht beabsichtigt, durch die grossen Schritte auch sehr schnell weiter zu kommen), man von selbst die Anstrengung, welche eine sehr schnelle Bewegung fordert, zu meiden, und also die Schnelligkeit der Bewegung und damit auch die Anstrengung zu mässigen suchen wird, indem man den grossen Schritten auch eine grosse Dauer giebt. Beim Eillaufe, haben wir gesehen, war die Schrittdauer stets sehr klein, nämlich kleiner, als die halbe Schwingungsdauer des Beins, daher grosse Schritte beim Eillaufe auch immer mit einer grossen Geschwindigkeit verbunden waren.

Was nun das *Mittel* betrifft, wodurch dieser beim Eillaufe unerreichbare Zweck beim Sprunglaufe möglich wird, so besteht es darin, dass man nicht wie beim Eillaufe das schwingende Bein gleich das *erste Mal*, wo es zur vertikalen Lage gelangt, auf den Boden treten, sondern dass man dasselbe weiter fortschwingen lässt, und mit dem Auftreten auf den Boden so lange wartet, bis das Bein von selbst zum *zweiten Mal* zur vertikalen Lage gelangt. Dieses ist das Mittel, wodurch der Hauptzweck des Sprunglaufs erreicht wird, nämlich eine grössere Schrittdauer, als beim Eillaufe zu erreichen möglich ist. Mit dieser grösseren Schrittdauer ist ein längeres Schweben des Körpers von selbst verbunden, und der Sprunglauf unterscheidet sich daher vom Eillaufe auch dadurch, dass der Körper beim Eillaufe kürzere Zeit, beim Sprunglaufe längere Zeit in der Luft schwebt.

Zur vollständigen Unterscheidung des Eillaufs und Sprunglaufs ist endlich noch Folgendes beizufügen. Beim Sprunglaufe bleibt man so lange in der Luft schweben, bis das zuerst aufgehobene Bein seine ganze Pendelschwingung von hinten nach vorn vollendet, und die äusserste Lage nach vorn, zu der es in Folge der Pendelschwingung im Vergleich zum übrigen Körper gelangen kann, erreicht hat. Indem man aber alsdann, wenn der Fuss am weitesten vor dem übrigen Körper voraus ist, dem gemeinsamen Zwecke des Eillaufs und Sprunglaufs gemäss, welcher in der Uebergehung einer möglichst langen Strecke Wegs ohne Berührung desselben besteht, *keine Rückschwingung* des Beins

gestatten darf; das Bein aber, zur Sparung der Anstrengung, erst wenn es die *vertikale Lage* erhalten hat, zu stemmen beginnen darf: so sieht man leicht ein, dass nur auf *eine* Weise *beide* Forderungen erfüllt werden, nämlich wenn man das Bein in seiner weitesten Exkursion den Boden zwar *berühren* und in seiner Schwingung arretiren lässt, jedoch ehe man sich damit gegen den Boden *stemmt*, so lange *wartet*, bis der Mittelpunkt des Körpers durch Fortdauer seiner Bewegung vertikal über dem ruhenden Fusspunkte anlangt, in welchem Augenblicke das Bein plötzlich gegen den Boden zu stemmen beginnt. Da vor diesem Augenblicke zwar eine Berührung, aber kein Druck durch die Muskeln, sondern blos vom Gewichte des Fusses auf den Boden ausgeübt wird, so musste sich bis zu diesem Augenblicke der Mittelpunkt des Körpers gerade noch so fortbewegen, als wenn der Körper bis dahin frei in der Luft geschwebt hätte. Es findet also zwischen dem Eillaufe und Sprunglaufe noch der Unterschied Statt, dass beim Eillaufe der Augenblick, wo man mit der Fussspitze den Boden zuerst berührt, immer der nämliche ist, wo man auch gegen den Fussboden stemmt; dagegen beim Sprunglaufe beide Epochen verschieden sind, weil man den Boden schon früher berührt, als stemmt.

§ 152.

Ueber die Kräfte, welche auf den Sprunglauf Einfluss haben, und über die Lage des Körpers in einzelnen Augenblicken des Sprunglaufs.

Von den Kräften sowohl, welche auf den Sprunglauf Einfluss haben, wie von der Lage des Körpers in einzelnen Augenblicken des Sprunglaufs gilt fast das nämliche, was wir §§ 141 und 142 vom Eillaufe ausgesagt haben. Doch muss über die Lage des Körpers in einzelnen Augenblicken des Sprunglaufs noch Folgendes zugefügt werden.

Auch beim Sprunglaufe folgen die nämlichen Lagen des Körpers in der nämlichen Ordnung auf einander, wie beim Eillaufe, nur müssen wir zwischen diesen, Fig. 34 und 35 dargestellten Lagen, wenn wir den Sprunglauf vollständig übersehen wollen, noch diejenigen Lagen einschalten, wo das Bein über die Vertikale hinaus weiter nach vorn schwingt, welche beim Eillaufe nicht vorkommen.

Fig. 37 und 38 geben eine vollständige Darstellung des Sprunglaufs. a bezeichnet den rechten Fuss, b den linken Fuss, c den Schwerpunkt. Für einerlei Zeitmomente sind von a, b und c einerlei Zahlen gesetzt worden. $a_{1,2,3}$ will sagen, dass, während c von c_1 durch c_2 bis c_3 und b von b_1 durch b_2 bis b_3 sich fortbewegten, a im Punkte $a_{1,2,3}$ ruhen bleibt. Die Räume $a_{1,2,3}\, b_{4,5,6} = c_2 c_5 =$ etc. sind Schrittlängen. Die Zeit eines Schritts nennen wir τ. Während c von c_3 bis c_7 fortrückt, kommt das rechte Bein aus der Lage $c_3 a_3$ successive in die Lagen $c_4 a_4$,

$c_5 a_5$, $c_6 a_6$, $c_7 a_7$, und würde dabei eine ganze Schwingung, deren Dauer gleich T ist, machen, wenn es im Augenblicke, wo es aufgehoben wurde, seine grösste Elongation gehabt hätte. Da dieses aber nicht der Fall ist, sondern vom Augenblicke, wo das Bein aufgehoben wird, bis zum Augenblicke, wo es zu seiner grössten Elongation gelangt, wie beim Gehen und Laufen (siehe §§ 130 und 144) ein kleiner Zeitraum β verfliesst, so muss dieser Zeitraum β zu T hinzugefügt werden, um die Zeit zu erhalten, in welcher der Körper von c_4 bis c_7 fortrückt. In der Zeit, wo der Körper vom Punkte c_2 bis c_3 fortrückt, wird das rechte Bein gegen den Fussboden gestemmt, und wir bezeichnen daher diesen Zeitraum mit t. Etwas grösser endlich, als dieser letztere Zeitraum, ist der, in welchem der Körper von c_7 bis c_8 fortrückt, wo das rechte Bein zwar wieder auf dem Boden steht, aber nicht stemmt; denn der rechte Fuss befand sich in dem Augenblicke, wo der Körper in c_3 war, um das Stück $c_2 c_3 = ct$ hinter dem Rumpfe, im Augenblicke c_7 aber um das Stück $c_7 c_8$ vor dem Rumpfe: $c_7 c_8$ ist aber grösser als $c_2 c_3$, weil es die grösste Elongation des schwingenden Beins ist, und zwar um so viel, als der Schwingungsbogen beträgt, den der Fuss in der Zeit β, von der grössten Elongation an gerechnet, in seiner Kreisbahn zurücklegt, d. i. $\left(\frac{1}{\cos\frac{\pi}{T}\beta} - 1\right) ct$. Es ist also $c_7 c_8 = \frac{ct}{\cos\frac{\pi}{T}\beta}$, und die Zeit, welche der Rumpf braucht, um diesen Weg zurückzulegen, ist, wenn die Geschwindigkeit c des Rumpfes nach § 128 als konstant genommen wird, gleich $\frac{t}{\cos\frac{\pi}{T}\beta}$. Da nun

$$c_2 c_3 + c_3 c_7 + c_7 c_8 = c_2 c_5 + c_5 c_8,$$

so ist auch

$$t + (T + \beta) + \frac{t}{\cos\frac{\pi}{T}\beta} = \tau + \tau,$$

wo τ die Schrittdauer bezeichnet, in welcher der Körper die Schrittlänge $c_2 c_5 = c_5 c_8$ zurücklegt. Hiernach ist

$$2\tau = T + \beta + \left(1 + \frac{1}{\cos\frac{\pi}{T}\beta}\right) t.$$

Uebrigens steht in der Zeit, wo der Körper

von c_1 bis c_3 fortrückt, das rechte Bein,
„ c_3 „ c_4 „ kein Bein,
„ c_4 „ c_6 „ das linke Bein,
„ c_6 „ c_7 „ kein Bein u. s. w.

auf dem Boden.

§ 153.

Die Gesetze des Sprunglaufs.

Aus dem Vorhergehenden geht nun hervor, welche Gesetze dem Eillaufe und dem Sprunglaufe gemeinsam zukommen, und welche Gesetze dem Sprunglaufe eigenthümlich sind.

Erstens findet man, dass das Gesetz für den Eillauf, § 143, auch für den Sprunglauf gelte, d. i.

$$l^2 = c^2t^2 + (h + s)^2. \quad (1.)$$

Zweitens beweist der vorige Paragraph, dass an die Stelle des für den Eillauf geltenden Gesetzes, § 144, zu setzen ist

$$(2.) \quad 2\tau = T + \beta + \left(1 + \frac{1}{\cos\frac{\pi}{T}\beta}\right)t.$$

Drittens gilt für den Sprunglauf wiederum dasselbe Gesetz, wie für den Eillauf, § 145, d. i.

$$(3.) \quad s = \tfrac{1}{2}\, g\, \frac{t}{\tau}(\tau - t)^2.$$

Viertens, die beiden Sätze § 146, nämlich:

1. dass das aufgehobene Bein wie ein Pendel schwingt, das ausser der anfänglichen schiefen Lage auch eine Geschwindigkeit in seiner Kreisbahn rückwärts erhalten hat, die, am unteren Endpunkte des Beins gemessen, der nach der Tangente der Kreisbahn geschätzten Geschwindigkeit des Rumpfes gleich ist;
2. dass die Geschwindigkeit des Punktes m', in welchem die Masse des Beins koncentrirt gedacht wird, in dem Augenblicke, wo es wieder auf den Boden tritt, nahe der Summe der horizontalen Geschwindigkeit c des Rumpfes m, und der zur Ablenkung des Beins in diesem Augenblicke gehörigen Pendelgeschwindigkeit gleich ist,

gelten beide auch für den Sprunglauf, nur dass in Beziehung auf den letzteren Satz zu bemerken ist, dass, weil das Bein in dem Augenblicke auf den Boden tritt, wo es seine Schwingung vollendet, die dem Beine in diesem Augenblicke zukommende Pendelgeschwindigkeit Null ist. Daraus folgt nun, dass zwar für den Sprunglauf, wie für den Eillauf, folgende Gleichungen gelten, nämlich

$$(4.) \quad \beta = \frac{T}{\pi}\,\mathrm{arc}\left(\cos = \frac{1}{n}\right),$$

$$(5.) \quad n = \sqrt{1 + \frac{r(h - s)^2}{g l t^2}},$$

$$r = \frac{g}{l}\frac{T^2}{\pi^2}; \tag{6.}$$

dass aber die lebendige Kraft, welche der Punkt m bei jedem Schritte an das schwingende Bein abgiebt, gleich:

$$m'c^2 - m'(1-r)^2 c^2 = m'r(2-r)c^2$$

ist, und dass folglich, wenn dieser Werth, § 146, statt

$$m'\left(1 + rnt\frac{\pi}{T}\right)^2 c^2 - m'(1-r)^2 c^2$$

gesetzt wird, für den Sprunglauf

$$h = \frac{(\mu+1)gt^2\left(1 - \frac{2s}{3h}\right)}{r(2-r)}. \tag{7.}$$

Wir haben also für den Sprunglauf so viele Gleichungen gefunden, als nöthig sind, um die horizontale Geschwindigkeit c aus der Schrittdauer τ, oder überhaupt alle unbekannten Grössen aus einer zu berechnen. Es sind nämlich, weil μ, l, T bekannt sind, nur folgende acht unbekannte Grössen:

$$h,\ s,\ \tau,\ t,\ c,\ \beta,\ n,\ r,$$

und wir haben sieben Gleichungen für diese acht unbekannten Grössen gefunden. Da übrigens $c = \frac{p}{\tau}$, so kann hier, wie beim Eillaufe, auch die Schrittlänge p daraus berechnet werden.

Aus diesen Gleichungen geht hervor, dass beim Sprunglaufe nie der Fall vorkommen kann, dass $t = \tau$ sei, wie beim Eillaufe. Wenn aber $\tau - t$ beim Sprunglaufe, nach der zweiten Gleichung, immer sehr gross sein muss, so ist auch s immer sehr gross (nach der dritten Gleichung), was mit der Erfahrung, dass die vertikalen Schwankungen beim Sprunglaufe weit grösser, als beim Eillaufe sind, übereinstimmt. Da ferner t, viel kleiner als τ, immer einen kleinen Werth hat, so ergiebt sich auch für h ein kleiner Werth, auch für diejenigen Werthe von μ, l und T, welche dem menschlichen Körper angemessen sind, woraus folgt, dass keine solche Senkung, wie wir §§ 135 und 149 beim Gehen und beim Eillaufe kennen gelernt haben, beim Sprunglaufe nöthig ist. Daraus ergiebt sich aber auch zugleich, dass der Mensch beim Sprunglaufe kein solches Mittel habe, wie beim Gehen und Laufen, um sich unabhängig von äusseren veränderlichen Einflüssen zu erhalten. Wirklich lehrt auch die Erfahrung, dass durch widrigen Wind der Sprunglauf sehr gestört wird, und dass derselbe überhaupt von äusseren Umständen sehr abhängig ist.

§ 154.

Bildliche Darstellung des Eillaufs und Sprunglaufs.

Die *Gesetze des Eillaufs,* § 150, verwandeln sich, wenn man, wie beim Gehen, § 138, den Werth von $n=1$, $r=1$ und $\vartheta=0$ setzt, wo denn der Werth von μ aus den Laufversuchen selbst abgeleitet werden muss, in folgende einfache Regeln, die dem Zeichner zur Richtschnur bei bildlichen Darstellungen des Eillaufs dienen können:

$$l^2 = c^2 t^2 + (h+s)^2,$$
$$2\tau = \tfrac{1}{2} T + t,$$
$$s = \tfrac{1}{2} g \cdot \frac{t}{\tau} (\tau - t)^2,$$
$$h = (\mu + 1)\, g t^2 \left(1 - \frac{2s}{3h}\right) \cdot \left(\frac{T}{T + \pi t}\right)^2.$$

Die *Gesetze des Sprunglaufs,* § 153, verwandeln sich, wenn man auf gleiche Weise den Werth von $n=1$ und $r=1$ setzt, und den Werth von μ aus den über den Sprunglauf angestellten Beobachtungen ableitet, in folgende einfache Regeln, die ebenfalls dem Zeichner zur Richtschnur bei bildlichen Darstellungen des Sprunglaufs dienen können:

$$l^2 = c^2 t^2 + (h+s)^2,$$
$$2\tau = T + 2t,$$
$$s = \tfrac{1}{2} g \cdot \frac{t}{\tau} (\tau - t)^2,$$
$$h = (\mu + 1) g t^2 \left(1 - \frac{2s}{3h}\right).$$

Beispielshalber ist in Fig. 39 auf Tafel XVI eine bildliche Darstellung des Eillaufs, in Fig. 40 auf Tafel XVI eine bildliche Darstellung des Sprunglaufs nach diesen Regeln ausgeführt worden, welche zusammen mit den bildlichen Darstellungen des Gehens, die in Fig. 12, 13 und 13a auf Tafel XV nach den in § 138 gegebenen Regeln ausgeführt worden sind, einen Ueberblick über alle wesentlich verschiedenen Bewegungsarten, zu welchen die Gehwerkzeuge gebraucht werden können, gewähren.

Vierter Theil.

Historische Uebersicht der älteren Untersuchungen über das Gehen und Laufen.

Allgemeine Bemerkungen über die älteren Untersuchungen des Gehens und Laufens.

§ 155.

Das Gehen und Laufen ist zwar der Gegenstand vielfacher Betrachtungen gewesen, es hat aber darüber sowohl an Versuchen gefehlt, um davon eine genaue, naturgemässe Beschreibung zu geben, als auch an Messungen, auf welche eine Theorie dieser Bewegungen sich gründen liesse.

In älterer und neuerer Zeit hat der menschliche Gang die Aufmerksamkeit wissenschaftlicher Männer auf sich gezogen. Schon Aristoteles[1]) und Galen,[2]) später Fabricius ab Aquapendente,[3]) Gassendi[4]) und Borelli,[5]) neuerlich Haller,[6]) Barthez,[7]) Magendie,[8]) Roulin,[9]) Gerdy,[10]) Krause,[11]) Poisson[12]) haben über diesen Gegenstand geschrieben. Da aber die Bewegungen des Körpers beim Gehen und Laufen sehr schnell vorübergehen und mehrere gleichzeitig geschehen, so ist eine genaue und zuverlässige Beobachtung dieser Bewegungen

[1]) Aristoteles, *περὶ ζώων πορείας*.

[2]) Galen, *περὶ χρείας τῶν ἐν ἀνθρώπου· σώματι μορίων*. Lib. III.

[3]) Fabricius ab Aquapendente, de motu locali animalium, Bataviae 1618. Hieronymi Fabricii ab Aquapendente Opera ed. Bohnius, Lipsiae 1687, p. 332.

[4]) Gassendi, de vi motrice et motionibus animalium. (Petri Gassendi Opera tom. II. Lib. XI, Florentiae.)

[5]) Borelli, de motu animalium, pars I, cap. XIX, XXI. Lugduni 1685.

[6]) Haller, elementa physiologiae, tom. IV, lib. XI, sect. IV.

[7]) Barthez, nouvelle mécanique des mouvements de l'homme et des animaux (übersetzt von Sprengel, Halle).

[8]) Magendie, précis élémentaire de physiologie, tome I, pag. 322—332. Paris 1825.

[9]) Roulin, recherches théoriques et expérimentales sur le mécanisme des attitudes et des mouvements de l'homme. Journal de physiologie, par Magendie, tom. I, II. 1821, 1822. (Diese Abhandlung ist unvollendet geblieben.)

[10]) Gerdy, mémoire sur le mécanisme de la marche de l'homme. Journal de physiologie, par Magendie, tom. IX, 1829, und Physiologie médicale didactique et critique par P. N. Gerdy, Paris 1833, tome I, partie 2.

[11]) Krause, Handbuch der menschlichen Anatomie, Bd. 1, Abth. 1, S. 319 ff.

[12]) Poisson, traité de mécanique, seconde édition, Paris 1833, tome II, page 759—761.

nur unter besonderen, dazu vorbereiteten Verhältnissen und durch die Anwendung von Instrumenten möglich, durch welche die Erscheinungen einzeln und von einander geschieden beobachtet werden können. Bei allen obengenannten Schriftstellern finden wir nur *einen* solchen *Versuch* über das Gehen erwähnt. Gassendi und Borelli sind nämlich unter ihnen die einzigen, die einen solchen Versuch mittheilen. Um zu erfahren, ob der Rumpf des gehenden Menschen einer Schwankung nach der rechten und der linken Seite unterworfen sei, richtete Borelli zwei Stangen in einer beträchtlichen Entfernung von einander senkrecht auf, und versuchte, ob er in der Richtung der sie verbindenden Vertikalebene so zu gehen vermöchte, dass die vordere die hintere stets ganz bedeckte. Er fand, dass dies nicht möglich sei, sondern, dass die hintere Stange neben der vorderen bald auf der linken, bald auf der rechten Seite erscheine, und dass folglich das Gehen von Schwankungen bald nach der linken, bald nach der rechten Seite begleitet sei. Einen ähnlichen Versuch führt Gassendi mit der gegen eine Wand ausgestreckten Hand an.

Um die Kräfte, durch welche das Gehen zu Stande kommt, zu bestimmen und aus ihnen unter den gegebenen äusseren Verhältnissen der Gehwerkzeuge die Bewegungen, die beim Gehen Statt finden, abzuleiten, müssen nicht blos die Bewegungen beim Gehen und ihre Aufeinanderfolge *beobachtet*, sondern auch *Messungen* über sie selbst und über die äusseren Verhältnisse der Bewegungsorgane, die sie machen, angestellt werden. Man muss die Dauer der einzelnen Schritte, oder die Zahl der Schritte in gegebener Zeit, ferner ihre Länge, oder ihre Zahl auf einem gegebenen Wege, sodann die Zeit, wie lange während eines Schritts das eine Bein schwebt und wie lange es aufsteht, und die Neigung, welche der Rumpf beim Gehen erhält, endlich die Veränderungen aller dieser Grössen messen, wenn die Geschwindigkeit, mit der man geht oder läuft, eine andere wird. Ausserdem aber muss auch die Länge der Bewegungsglieder und ihrer Abtheilungen, die möglichen, und die beim Gehen und Laufen wirklich vorkommenden Verkürzungen und Verlängerungen des Beins durch Beugung und Streckung gemessen werden. Endlich muss man erforschen, wie die Masse im Körper vertheilt ist, wo der Schwerpunkt des ganzen Körpers und der des Rumpfes, für sich betrachtet, liege, ob die Beine, wenn sie hängen, vermöge ihrer Schwere regelmässige Pendelschwingungen machen, und wie gross deren Dauer sei. Alle diese Messungen sind nöthig, um eine erfahrungsmässige Grundlage für die Betrachtung des Gehens und Laufens zu gewinnen. Ueber alle diese Gegenstände findet man bei den oben genannten Schriftstellern keinen Aufschluss. Blos Borelli hat eine solche Messung, zur Bestimmung der Lage des Schwerpunktes des ganzen

Körpers in gestreckter Lage gemacht. Er legte nämlich einen Leichnam auf die Mitte eines wohl abgerichteten Brettes, legte dieses Brett auf die Kante eines Prismas auf und verschob es so lange, bis es im Gleichgewichte war. Auf diese Weise fand er den Schwerpunkt jenes Leichnams zwischen Gesäss und Scham (*inter nates atque pubin*) liegend. Auch betrachtet Borelli diesen Punkt als den Angriffspunkt der Kräfte, welche beim Gehen wirksam sind.

Was man ausserdem bei den genannten Schriftstellern findet, sind nicht die unmittelbaren Aussprüche von Beobachtungen und Versuchen, welche sie an gehenden und laufenden Menschen gemacht haben, sondern vielmehr Ideen, wie sich dieser und jener Schriftsteller gedacht hat, dass das Gehen und Laufen zu Stande komme, die er mit den unvollkommenen, auf dem blossen Anblick gehender und laufender Menschen beruhenden Beobachtungen vereinigen zu können glaubte. Daher kommt es denn, dass die Beschreibungen, welche die einzelnen Schriftsteller von diesen Bewegungen geben, da, wo die späteren sie nicht von den früheren entlehnt haben, sehr von einander abweichen. So verschieden aber auch einige Beschreibungen den Worten nach sind, so wenig unterscheiden sie sich den Gedanken nach. Dieselbe unbestimmte Allgemeinheit der Ideen, durch die am Ende gar nichts gewonnen wird, findet sich hierbei mehr, als irgendwo, schon bei den ältesten Schriftstellern, wie bei den neuesten, so, dass es fast scheint, dass sie blos die Wichtigkeit dieses Kapitels der Physiologie des Menschen dadurch, dass sie darüber schrieben, haben anerkennen wollen. Die allgemeinen Aeusserungen über das Gehen und Laufen, welche bei den ältesten Schriftstellern vorkommen, sind zum Theil keines Auszugs fähig, und wir übergehen sie darum, weil sie für uns kein besonderes Interesse mehr gewähren. Hierher gehören Aristoteles und Galen, deren Ansichten und Meinungen, bei ihrer unvollkommenen Kenntniss der mechanischen Gesetze, gar nichts Interessantes darbieten. Auch Fabricius ab Aquapendente giebt nichts, als eine sehr unvollkommene und mangelhafte Beschreibung, wie er sich die Bewegungen des Gehens und Laufens vorgestellt habe. Wir wollen daher unsere historische Uebersicht mit Gassendi und Borelli beginnen, von denen vorzüglich der letztere, wie wir schon erwähnt haben, den an eine wirkliche Untersuchung zu machenden Forderungen wenigstens einigermaassen nachzukommen sich bestrebt hat.

Darstellung der einzelnen Untersuchungen über das Gehen und Laufen.

§ 156.

Gassendi.

Vollständiger und richtiger als die Beschreibungen des Aristoteles, Galen und Fabricius ab Aquapendente vom Gehen und Laufen sind, ist die Beschreibung, welche Gassendi in seiner Abhandlung *de vi motrice et motionibus animalium* giebt, die wir daher im Auszuge hier mittheilen. Er hat zuerst die Verlängerung des gegen den Fussboden stemmenden Beins berücksichtigt und daraus gefolgert, dass der Rumpf horizontal fortbewegt werden könne, ungeachtet jenes Bein keinen Augenblick vertikal stehen bleibe, sondern während des Stemmens sich immer mehr neige. Auch hat er eingesehen, was bei Mehreren nach ihm nicht der Fall ist, dass der schräg abwärts wirkende Theil der Streckkraft jenes Beins vom Fussboden aufgehoben werden müsse, um eine Fortbewegung des ganzen Körpers durch die Streckkraft möglich zu machen. Uebrigens nimmt er an, dass das eine Bein in demselben Augenblicke auftrete, wo das andere aufgehoben wird, was nur beim schnellsten Gehen der Fall ist, und dass der Rumpf ganz horizontal fortbewegt werde und am Ende des Schritts gar nicht sinke, was nur bei widrigem Winde geschehen kann. Endlich fehlt in seiner Beschreibung die Angabe, dass in dem Augenblicke, wo das eine Bein gehoben wird, das andere Bein senkrecht stehe, und dass das aufgehobene Bein, durch seine eigene Schwere getrieben, vorwärts bewegt werde. Ueberhaupt so richtig zum Theil seine Muthmaassungen sind, so hat er sie doch durch die Erfahrung zu begründen und zu bestätigen nicht versucht, so wie er auch nicht versucht hat, sie selbst in einen engeren Zusammenhang zu bringen, um eine Theorie dieser Bewegungen darauf zu gründen. Folgender Auszug enthält wesentlich Alles, was Gassendi über das Gehen sagt:

„Aristoteles lehrt," sagt Gassendi (siehe Petri Gassendi *Opera tom. II, Lib. XI, Cap. V, de motu animalium secundum totum, ac primum de gressu* pag. 465. Florentiae), „da beim Gehen das stehende Bein gleichsam ein Perpendikel und demnach mit der Erde als Grundlinie einen rechten Winkel darstelle, so bilde das andere vorgestreckte Bein gleichsam die Hypotenuse, die jenen rechten Winkel überspanne,

und weil die zu den beiden Seiten gehörige Hypotenuse länger ist als jede Seite einzeln, und das stehende und vorgestreckte Bein gleich sind, so müsse das stehende Bein gebogen werden, damit das Perpendikel, oder die eine den rechten Winkel einschliessende Seite, kürzer als die Hypotenuse sei. Um zu begreifen, in wie weit dies wahr ist, und die Sache vollständig darzustellen, muss man bemerken, dass, wenn man auch sage, man schreite fort durch Fortsetzung des einen Fusses, während der andere stehen bleibt, dies nicht so aufzufassen ist, als wenn während der Fortsetzung des einen Fusses der andere ganz ruhe; denn der Fuss, von dem man sagt, er stehe, bleibt auf keiner Stelle der Erde einen Augenblick lang ganz fest stehen, sondern wird allmählig über sie ganz in die Höhe gehoben vom äussersten Hacken bis zu den äussersten Zehenspitzen, und verhält sich gerade so, wie eine auf einer Ebene rollende Kugel, die sich zwar auf die Ebene stützt, mit keinem Theile aber einen Augenblick lang auf ihr haftet, sondern immer mit anderen Theilen andere Theile derselben berührt." — „Während das vordere Bein zur Erde niedertritt, stemmt das hintere Bein zuletzt noch mit seinem Mittelfusse und mit den Zehen, und weil es dadurch verlängert und straff erhalten wird, treibt es den Rumpf nach vorn, sodass er über den Hacken des vorderen Fusses hinaus geht. Es rührt aber dieser den Rumpf forttreibende Stoss daher, dass die Stemmkraft des Beins nicht einfach abwärts wirkt, sondern, indem sie die Erde drückt, zugleich einen Gegendruck der Erde veranlasst; denn man würde weder durch Gehen, noch durch Fliegen, Schwimmen und Kriechen irgend etwas vorwärts rücken, wenn nicht derjenige Körper, gegen welchen man sich stützt, einen Gegendruck ausübte."

Zum Schluss stellt Gassendi folgende zehn Sätze über die Bewegung des Gehens auf:

1. Die Bewegung des Gehens, welche geradlinig zu sein scheint, ist eine aus mehreren, um verschiedene Mittelpunkte beschriebenen Kreisbögen zusammengesetzte Bewegung.

2. Der Fuss ist nöthig zum Tragen und zum verschiedenen Neigen des Körpers, je nachdem die Last des Körpers senkrecht über dem Hacken und über der übrigen Sohle liegt; er vergrössert auch den Schritt um seine ganze Länge, da bekannt ist dass, wer den vorderen Theil des Fusses aufwärts beugt und blos auf dem Hacken auftritt, kleinere Schritte macht.

3. Das Stemmen gegen die Erde beim Gehen findet ununterbrochen Statt, indem die Theile desselben Fusses nach einander stemmen und das eine Bein nicht eher zu stemmen aufhört, bis das andere beginnt; und eben so geht die Bewegung durch die Luft ununterbrochen fort, indem, sobald der eine Fuss aufhört, der andere durch die Luft sich zu bewegen anfängt.

4. Blos der stemmende Fuss bewegt den darauf sich stützenden Rumpf fort, da der durch die Luft bewegte Fuss am Rumpfe hängt und von ihm fortgetragen wird.

5. Die Fortbewegung des Rumpfes geht ununterbrochen fort, weil in dem Augenblicke, wo das eine Bein, auf welches er sich stützt, zu stemmen aufhört, das andere Bein ihn aufnimmt, und, schon stemmend, ihn stützt, und ohne Zeitverlust ihn weiter führt.

6. Die Fortbewegung des Rumpfes ist etwas wellenförmig, und zwar sowohl aufwärts und abwärts, als auch nach rechts und links. Beides rührt bloss von der abwechselnden Neigung des Rumpfes nach beiden Seiten her, je nachdem er auf das eine und das andere Bein zu stehen kommt, nicht aber davon, dass das stehende Bein, wenn es sich vorwärts neigt, den Rumpf sinken lasse; denn beim Gehen wird das aufstehende Bein um so mehr gestreckt, je weiter es von der senkrechten Lage

ab sich vorwärts neigt, und dadurch wird bewirkt, dass der Rumpf von diesem Beine immer in gleicher Höhe erhalten wird. Jene wellenförmige Bewegung bemerkt man, wenn man neben einer Wand hingeht, gegen die man die Hand ausstreckt.

7. Die Bewegung des Fusses durch die Luft ist zwei Mal so schnell, als die Fortbewegung des Rumpfes.

8. Die Arme bewegen sich beim Gehen vorwärts, aber nie rückwärts, sondern stehen blos still und lassen den Körper an sich vorübergehen, und zwar bewegt sich der rechte Arm mit dem linken Beine zugleich vorwärts.

9. Wenn Jemand rückwärts gehen will, muss er mit den Zehen zu stemmen anfangen, mit dem Mittelfusse fortfahren und mit dem Hacken aufhören.

10. Beim Aufwärtssteigen muss man mit dem vorderen Theile des Fusses vorzüglich stemmen und den Rumpf vorwärts neigen und das Knie sehr beugen. Beim Abwärtssteigen muss man mit dem Hacken vorzüglich stemmen, und den Rumpf rückwärts neigen und das Knie wenig beugen.

§ 157.

Borelli.

Wir werden zuerst mit wenigen Worten die Hauptgedanken Borelli's aussprechen, sodann seine eigenen Worte aus dem 19. und 21. Kapitel des ersten Theils seines Werkes *de motu animalium* in der Uebersetzung mittheilen.

Borelli scheidet, wie wir es gethan haben, die Zeit eines Schritts in zwei Theile, nämlich in die Zeit, wo der Mensch auf einem Beine, und in die Zeit, wo er auf beiden Beinen steht.

Ehe er ferner die Kräfte, die in diesen beiden Zeiträumen auf den Körper wirken, selbst definirt, giebt er die Lage des Körpers für einen bestimmten Zeitmoment an, nämlich für den Grenzmoment jener beiden Zeiträume, und zwar setzt er fest, dass die beiden Beine mit dem Fussboden in diesem Augenblicke ein rechtwinkeliges Dreieck einschliessen. Aus unseren Versuchen ergiebt sich, dass diese Annahme, die Borelli durch keine Versuche bewiesen hat, richtig ist.

Ferner definirt Borelli auch die Kräfte, die auf den Körper in der Zeit wirken, wo er von zwei Beinen gestützt ist. Ihrer Richtung nach definirt er sie als Kräfte, die den Schenkelkopf, oder den Schwerpunkt, den er in gleiche Höhe mit jenem setzt, vom Fusse in gerader Linie zu entfernen suchen, gerade so, wie die Kraft einer vom Schiffer gegen das Ufer gestemmten Stange. Ihrer Grösse nach zerfällt er sie in zwei Theile, nämlich in die Kraft, die auf jedes Bein, als feste Stütze betrachtet, komme, um das Gewicht des Körpers zu tragen, und in eine besondere Streckkraft, die er dem hinteren Beine zuschreibt, und durch welche der Körper nach vorn beschleunigt werde (diese letztere Kraft setzt eine Verlängerung des Beins voraus, und steht dadurch in Widerspruch mit der früheren Betrachtung des Beins als feste

Stütze, denn es kann neben der Kraft, mit der sich die Beine zu verlängern streben, nicht noch von einer von ihrer Steifigkeit oder Härte herrührenden Kraft die Rede sein). Hierin weicht Borelli von unserer Bestimmung der zum Gehen nothwendigen Kräfte ab, da wir nachzuweisen gesucht haben, dass der Körper in der Zeit, wo er auf beiden Beinen steht, durch die Streckkraft der Beine gar nicht beschleunigt werde; im Gegentheile, dass der Körper, falls er in dieser Zeit sich nicht senken und dem Boden nähern sollte, sogar in seiner Bewegung durch die Streckkraft des vorderen Beins retardirt werden müsste (siehe § 127).

Was nun aber endlich die Bestimmung der Kräfte in dem zweiten Zeitraume, wo der Körper auf einem Beine steht, betrifft, so scheint Borelli sie gänzlich übersehen zu haben, denn man erfährt über diese Kräfte gar nichts von ihm. Gerade diese Kräfte, die der Natur der Sache nach sehr bestimmt angegeben werden können, haben aber, wie wir nachzuweisen gesucht haben, den grössten Einfluss auf die Fortbewegung des Körpers, und es unterscheidet sich unsere Theorie wesentlich von der Borelli's dadurch, dass Borelli die Ursache der Fortbewegung in dem Zeitraume sucht, wo der Körper auf beiden Beinen, wir dagegen in dem Zeitraume, wo er auf einem Beine steht.

Was also die Principien seiner Theorie betrifft, so ist Borelli von einer richtigen Annahme über die Lage des Körpers in einem bestimmten Zeitmomente des Gehens ausgegangen; ferner hat er die Art, wie die Muskelkräfte wirken, richtig angegeben, hat aber in dem Zeitraume, wo man auf beiden Beinen steht, einen unnützen Aufwand von Muskelkraft angenommen und dagegen die wesentlichen und nothwendigen Kräfte während der Zeit, wo man auf einem Beine steht, gar nicht beachtet. Man sieht daraus, dass diese Principien nicht so beschaffen sind, dass irgend ein bestimmtes Gesetz, wie die Geschwindigkeit des ganzen Körpers, die Zahl und die Grösse der Schritte von einander abhängen, daraus gefolgert werden könnte. Auch hat er ein solches Gesetz nicht einmal vermuthungsweise ausgesprochen, so dass also dieser Versuch Borelli's zu einer Theorie des Gehens zu keinem bestimmten Resultate geführt hat.

Folgende Stellen aus Borelli's Werke *de motu animalium, pars I, cap. XIX* dienen unserem Urtheile zum Belege.

„Das Springen unterscheidet sich dadurch vom Gehen, dass beim Springen die ganze Maschine des menschlichen Körpers durch gleichzeitige Erhebung beider Beine über den Erdboden zu schweben kommt und, gleich einem geworfenen Körper, zugleich aufwärts und vorwärts getrieben wird; beim Gehen aber der menschliche Körper stets auf den Boden gestützt ist, jedoch abwechselnd mittelst des einen und des anderen Beines."

„Betrachten wir nun die Bewegungen, wodurch der menschliche Gang zu Stande kommt, so bemerke ich, dass die Maschine *R* (Fig. 41) nach *K* nicht bewegt werden kann, wenn nicht das gleichschenkelige Dreieck *ABC* in ein recht- und stumpfwinkeliges umgestaltet wird, so dass der Winkel *ABC* zuerst zu einem rechten, dann zu einem stumpfen Winkel wird. Das kann aber nur geschehen, wenn die Seite *AC* verlängert, die Seite *AB* verkürzt wird. Diese Operation wird aber leicht ausgeführt, wenn man die Fusssohle *C* so richtet, dass der Winkel der Ferse stumpf wird; denn so berührt die Spitze des Fusses den Fussboden, und die Stütze *AC* wird verlängert. Zu gleicher Zeit wird die Stütze *AB* durch Beugung des Knies und des Fersenwinkels *B* verkürzt. So wird die Maschine *R* vorwärts bewegt, bis die Linie *AD* mit *AB* zusammenfällt, oder bis die Richtung der Stemmkraft *AB* gegen den Horizont senkrecht wird.“ — „Wann aber die Maschine aufrecht in der Lage *RAB* und senkrecht auf dem Horizonte steht, wird die Last ganz von der Steifigkeit der knöchernen Stütze *AB* getragen. Die Stütze *AC* ist dann unnütz und dient nicht zur Stützung der Maschine *R*; kann daher leicht von der Erde erhoben werden, ohne Gefahr, dass der Mensch falle.“ —

„Der Mensch würde aber nicht vorwärts kommen, wenn er die Füsse wechselweise nur aufhübe und an dieselben Stellen zurücksetzte, von welchen sie in die Höhe gehoben worden sind; sondern er muss den Platz in der horizontalen Ebene wechseln, indem er die ganze Last seines Körpers vorwärts bewegt. Es ist also zu erforschen, durch welche Organe und durch welches Verfahren dies geschehe.“ —

„Die Beine sind, wie bekannt, beim Stehen so auf den Boden gestützt, dass sie ein gleichschenkeliges Dreieck bilden. Von dieser Lage aus führt die Natur gleichzeitig mehrere Kreisbewegungen aus, wodurch der menschliche Gang zu Stande kommt. Es dreht sich nämlich die Stütze, oder das Bein *AB*, wie ein Hebel, um den Punkt *B*, als Mittelpunkt, in einer gegen den Horizont senkrechten Ebene, und gleichzeitig wird die Maschine des ganzen Körpers *R* vorwärts nach *K* bewegt. Diese Fortbewegung geschieht aber auf folgende Weise. Durch Streckung des Fusses *LC* mittelst der Wadenmuskeln wird der Winkel *ALC* stumpf gemacht, und, weil die Fussspitze den Boden in *C* berührt, so wird die Länge des ganzen Beins sammt der Hüfte durch die hinzukommende Länge des Fusses *LC* verlängert und so jenes gleichschenkelige Dreieck zuerst in ein rechtwinkeliges verwandelt, sobald nämlich das Bein *AB* senkrecht auf dem Horizonte zu stehen kommt. Bei diesem Vorgange, wohl zu merken, wird die ganze Maschine *R* von beiden Füssen gestützt und kann daher leicht um so viel geneigt werden, dass das Bein *AB* senkrecht auf der darunter gelegenen Ebene steht. Ferner in Folge der Streckung des Fusses und der Verlängerung des Beins *AC* wird der Fussboden von der Fussspitze *C* gedrückt, und daher die Maschine des Körpers *R* durch eine reflektirte Bewegung vorwärts nach *K* bewegt, nicht anders als ein Schiff, das von den Schiffern mit der Stange getrieben, sich vom Ufer entfernt. Dieses Fortstossen des Körpers wird durch eine geringe Krümmung des Kopfes und des Oberleibes vorwärts nach *K*, wodurch der Schwerpunkt des ganzen Körpers und dadurch auch die Neigungslinie über den Rand des Fusses *BC* hinausrückt, ausserordentlich erleichtert, so, dass die schwere Maschine *R* zum Fallen geneigt wird und deshalb von selbst vorwärts rückt. Dieses Fallen wird jedoch dadurch sogleich vermieden, dass der Fuss *LC* erhoben und schnell über die Neigungslinie hinaus nach *K* geführt wird, wodurch die feste Stellung wieder hergestellt wird. Auf diese künstliche Weise wird beim Gehen die Maschine des menschlichen Körpers vorwärts bewegt.“ —

„Wenn der Mensch geht, ruht seine Maschine mit ihrem Gewichte stets auf dem festen Boden und wird durch die Steifigkeit des knöchernen Gerüstes der Beine

gestützt, was mit geringer Anstrengung der Muskeln geschieht und mit keiner unangenehmen, von der Zusammendrückung der Sehnen und Ausdehnung der Häute herrührenden Empfindung verbunden ist. Während er nun auf beiden Beinen ruht, geschieht die Fortbewegung seines Schwerpunkts; denn indem durch das hintere Bein, welches sich durch die Streckung des Fusses verlängert, der Boden rückwärts gestossen wird, erhebt sich die ganze Maschine bis lothrecht über den vorderen festen Fuss, und wird noch etwas weiter nach vorwärts, also senkrecht gegen ihre Länge, bewegt. Plötzlich wird dann der verlängerte hintere Fuss von der Erde durch Beugung dreier Gelenke, des Hüft-, Knie- und Fussgelenkes erhoben, und wird in Folge der durch den vorhergehenden Anstoss erhaltenen Geschwindigkeit und durch die Beugung des Kopfes und der Brust über den ruhenden Fuss hinaus auf den Boden aufgesetzt. Hierdurch gelangt der Körper wieder zur ursprünglichen Stellung, worauf der hintere Fuss wieder thätig wird und in gleicher Zeit eben so weiter schreitet."

Ueber das Springen und Laufen sagt Borelli im 21. Kapitel:

„Wir sehen, dass Menschen, die auf den Beinen mit ausgestreckten Gelenken, wie auf Säulen, stehen, nicht springen können, wenn sie auch wollen und sich noch so sehr anstrengen. Sind dagegen aber die Gelenke gebogen und sehr zusammengekrümmt, und werden dann die Streckmuskeln mit grosser Heftigkeit gespannt und verkürzt, so erfolgt ein Sprung. Die vierfüssigen Thiere und einige Insekten, die die Gelenke aller Beine oder wenigstens die der hinteren immer gebogen haben, können jederzeit springen, und dennoch krümmen sie jene, wenn sie einen recht grossen Sprung machen wollen, noch mehr als gewöhnlich, und die fusslosen Reptilien springen nur, wenn sie die Wirbelsäule hierhin und dorthin beugen."

„Wenn eine gerade und steife Feder, oder ein Bogen (Fig. 42) FEC auf einer festen Unterlage RS in C aufsteht und durch die Kraft der Hand oder eines Gewichtes M zusammengedrückt wird, bis sie, gewaltsam gebogen, die krumme Gestalt von ABC annimmt, und man darauf die Kraft M entfernt, so sieht man, dass die Feder nicht nur die frühere Lage wieder annimmt, sondern sich ausserdem mit einem schnellen Sprunge vom Boden erhebt. Die Ursache dieser Wirkung ist, weil der Schwerpunkt E der Feder bei der Zusammendrückung nach D herabgedrückt worden ist und die gebogene Feder sich daher, wenn die Kraft M entfernt wird, durch ihre Kraft plötzlich wieder auszudehnen strebt, und zwar beide Hälften BA und BC auf gleiche Weise, so dass das Ende C sich der Erde eben so sehr zu nähern, als das Ende A sich davon zu entfernen sucht. Weil aber die Härte der Unterlage RS das Ende C hindert, sich nach der Erde zu bewegen, so muss der Schwerpunkt D mit dem ganzen Bogen eben so wohl durch Rückwirkung vom Boden, als durch direkten Antrieb in die Höhe nach E bewegt werden. Da nun eine solche Bewegung von D nach E nur durch eine dem Bogen von der elastischen Kraft ertheilte Geschwindigkeit möglich ist, so muss alsdann eine solche einmal erzeugte Geschwindigkeit von selbst unabänderlich fortdauern, wie früher bewiesen worden ist. Daher kann diese Geschwindigkeit auch dann nicht verschwinden, wenn der Bogen in seine gestreckte Lage zurückgekehrt ist, sondern sie muss den Bogen und seinen Schwerpunkt in der Richtung DE über den Punkt E hinaus treiben, so, dass der Bogen, einem geworfenen Körper ähnlich, vom Boden aufwärts steigt, bis seine Geschwindigkeit von der Kraft der Schwere aufgehoben wird, und er selbst zum Stillstehen und sodann wieder zum Herabfallen genöthigt wird."

„Es sei der Bogen (Fig. 43) ABC beim Punkte B gekrümmt und aufrecht in C auf den Boden gestützt. Er habe seinen Schwerpunkt in D und werde sehr schnell durch Zusammenziehung des Seiles GQH an seiner äusseren Seite ausgestreckt; so

wird er, sage ich, mit einem Sprunge von der Erde entweichen, weil der Bogen, wie gesagt, im Augenblicke, wo sich das Seil zusammenzieht, sich ausbreitend seine Arme aufwärts und abwärts treibt, der Schwerpunkt also, wie in Fig. 42, wegen des Widerstandes des Bodens *RS* durch die reflektirte Bewegung aufwärts von *D* nach *E* getrieben wird. Eine solche progressive Bewegung kann nicht ohne mitgetheilte Geschwindigkeit Statt haben. Eine solche Geschwindigkeit beharrt aber und verschwindet nicht von selbst; folglich kann die mitgetheilte Geschwindigkeit, auch nachdem sich der Bogen völlig ausgestreckt hat, nicht ruhen, sondern wird den Bogen und seinen Schwerpunkt weiter von *E* nach *F* versetzen. Eine solche Bewegung kann aber nicht ohne Sprung geschehen."

„Es stehe die Maschine des menschlichen Körpers *ABE* (Fig. 44) so, dass die Knochen des Oberschenkels, Unterschenkels und der Wirbelsäule, einer Säule gleich, eine gerade Linie bilden, welche senkrecht auf der horizontalen Fläche *RS* steht; so wird der Schwerpunkt *G* vom Boden um die ganze Länge des Ober- und Unterschenkels abstehen. Werden darauf die Gelenke *B*, *C*, *D*, wie in Fig. 45, gebeugt und ihre Winkel so spitz, dass der Abstand *GE* des Schwerpunktes vom Boden fast blos der Länge des Schienbeins gleich ist, oder gleich der Hälfte jenes grösseren Abstandes des Schwerpunktes, als der Mensch noch stand. Wenn in dieser Stellung die *musculi glutei*, *vasti* und *soleus* gleichzeitig sehr heftig und schnell zusammengezogen werden, so werden nothwendig die drei Bögen *ABC*, *BCD* und *CDE*[1]) mit der grössten Gewalt ausgestreckt und der Schwerpunkt *G* nothwendig wegen des Widerstandes des Bodens aufwärts bis nach *F* getrieben, und, weil eine solche Bewegung ohne mitgetheilte Geschwindigkeit nicht Statt haben kann, und diese Geschwindigkeit ihrer Natur nach beharrt, so kann sie nicht ruhen, sondern wird die Masse des menschlichen Körpers eine Zeitlang ausser Berührung mit dem Fussboden bringen und sie durch einen Sprung ein Stück in die Höhe treiben, bis allmählig die Kraft der Schwere jene Geschwindigkeit des springenden Körpers aufhebt. Es könnte Jemand glauben, dass die Erfahrung dieser Lehre widerspreche, wenn ein Mensch sich nach Einbeugung aller jener drei Gelenke in stetiger Bewegung erhebt und aufrichtet, und die Gelenke entfaltet, was doch nicht ohne Bewegung des Schwerpunktes aufwärts geschehen kann, und dennoch die Geschwindigkeit, mit welcher er aufwärts getrieben wurde, keinen Sprung herbeiführt. Zur Lösung dieser Schwierigkeit ist zu erwägen, dass bei einer langsamen oder durch viele Ruhepunkte unterbrochenen Bewegung zwar sehr kurzdauernde Sprünge entstehen, die aber unwahrnehmbar sind, weil der Körper, von der Schwere getrieben, immer sogleich wieder herabfällt. Solche ganz kleine Sprünge erkennt das Auge nicht. Dazu kommt noch, dass solche Sprünge auch durch die Ausdehnung der weichen Theile der Beobachtung entzogen werden, wie ein Kissen, auch wenn es aufwärts gezogen und bewegt wird, nicht ausser Berührung mit der Erde kommt, wenn nicht die Bewegung aufwärts grösser ist, als seine Ausdehnung. Damit also sichtbare Sprünge erfolgen, muss die Streckung der Gelenke gross sein und schnell erfolgen, damit sie eine grosse Geschwindigkeit hervorbringe; alsdann muss nothwendig ein Sprung erfolgen. Aus dem oben Gesagten geht hervor, dass beim Menschen drei Bögen gespannt werden, zwar nicht durch elastische Kraft der Materie bei äusserer Anspannung der Gelenke, wie es bei hölzernen und stählernen Federn geschieht, sondern durch die willkürliche Kraft der Streckmuskeln." — „Die eben erwähnten drei Bögen haben einen bewunderungswürdigen Bau und Stellung, abwechselnd nach entgegengesetzten Seiten, so, dass erstens der Schwer-

[1]) [Der an die Ferse gehörige Buchstabe *D* ist von den Verfassern in Fig. 45 fortgelassen worden.]

punkt durch einen dreifachen Raum getrieben, und dem Körper eine um so schnellere Wurfbewegung mitgetheilt werde und er selbst um so höher emporsteige; denn die Geschwindigkeitselemente, welche ihm während der ganzen Zeit, wo sich die Gelenke entfalten, unaufhörlich mitgetheilt werden, beharren und summiren sich zu einer immer grösseren Geschwindigkeit, wie schon erwähnt worden ist; dass ferner zweitens die Bewegung geradlinig ist, entweder senkrecht oder gegen den Horizont geneigt; denn, weil Bewegungen der Glieder um die Drehungspunkte aller Gelenke Statt finden, so müssen die Drehungspunkte mit verschiedener Geschwindigkeit bewegt werden können, so, dass aus allen Kreisbewegungen eine geradlinige Bahn resultire. Drittens nützt die abwechselnde Lage der drei Gelenke zur Aufhebung des Stosses beim Herabfallen, damit die Füsse durch den heftigen Anstoss am Boden nicht zerbrochen oder verrenkt werden; denn sie heben durch ihre Nachgiebigkeit die Heftigkeit des Falles allmählig auf." — „Der thierische Körper erhält beim Laufe, ebenso wie ein über einer horizontalen Fläche hingeworfener Ball, eine gewisse Geschwindigkeit. Sowie aber dieser seine Geschwindigkeit durch einen neuen Anstoss in querer Richtung nicht verliert, sondern nur in einer anderen Richtung die Bewegung fortsetzt, ebenso wird auch die Geschwindigkeit, mit welcher der thierische Körper sich beim Laufen fortbewegt, durch die Ablenkung, welche der Sprung hervorbringt, nicht vernichtet, sondern der Körper ändert nur die Richtung seines Weges ab. Wenn nun beide Bewegungen, die des Laufes und Sprunges zusammen Statt finden, so wird die Geschwindigkeit der Fortbewegung, die sie erzeugen, grösser sein, als ein einzelner Sprung sie hervorbringen kann, und sie werden deswegen einen grösseren Raum zu überschreiten gestatten. Daher wird auch der Sprung seiner Weite und Höhe nach vergrössert, wenn man vorher einen Anlauf nimmt."

§ 158.

Haller.

Haller ist in seinen Elementen der Physiologie auf keine genauere Untersuchung der lokalen Bewegungen des Menschen eingegangen. Das Wenige, was er über das Gehen gesagt hat, wollen wir in der Uebersetzung vollständig mittheilen, weil daraus hervorgeht, wie wenig bis zu seiner Zeit in diesem Felde geschehen war, da etwas Wesentliches und Wichtiges seiner Aufmerksamkeit gewiss nicht entgangen sein würde. Selbst die Arbeit Borelli's, wiewohl sie einige richtige Bemerkungen enthält, scheint er darum, weil sie zu keinen bestimmten Resultaten geführt hat, einer näheren Berücksichtigung nicht werth geachtet zu haben. In der Beschreibung, die er vom Gehen selbst entwirft, sind die Hauptmomente mangelhaft und irrig aufgefasst, und vieles darin steht mit der Erfahrung in Widerspruch. Er giebt nicht an, dass in dem Augenblicke, wo das hintere Bein vom Boden erhoben wird, das vordere Bein senkrecht steht, sondern scheint vielmehr zu glauben, dass in diesem Augenblicke das vordere Bein schief und das hintere senkrecht stehe: es fehlt ihm also die eine Grundlage der Theorie, die richtige Bestimmung der Lage des Körpers im Anfange jedes Schritts. Eben so fehlt ihm auch die andere Grundlage, die richtige und vollständige Bestimmung der beim Gehen wirksamen Kräfte.

Er giebt nicht an, dass die Schwere auf das aufgehobene Bein wirke, und es in einer Kreisbahn vorwärts treibe, sondern meint, dass das Bein durch Muskelkraft sowohl gehoben, als auch vorwärts bewegt werde. Er sagt ferner nicht, wie durch die Zusammenziehung der Muskeln das Bein vorwärts, und dabei doch kein anderer Theil des Körpers zugleich rückwärts bewegt werde (da doch durch die blosse Zusammenziehung eines Muskels keine Verrückung des Schwerpunktes bewirkt werden kann). Endlich wirft er (wie er sich ausdrückt) das hinten aufgehobene Bein sammt dem ganzen Körper nach vorn, ohne Angabe der Kraft, welche zu dieser Wurfbewegung nothwendig ist. Kurz, Haller vernachlässigt die Reibung des Fusses am Boden, die nothwendig ist, wenn der Obertheil des Körpers durch Muskelkraft vorwärts bewegt werden soll, während der Untertheil des Körpers stehen bleibt.

„Setzt man,“ sagt Haller (*Elementa physiologiae* tom. III, lib. XI, sect. IV, § 3), „die aufrechte Stellung voraus, so bleibt der eine Fuss unbeweglich, um den Kräften, durch welche man den anderen Fuss fortbewegen muss, als *punctum fixum* zu dienen. Gesetzt, es sei dies der rechte Fuss und er werde durch seine eigenen Kräfte festgehalten, so wird dann der linke Fuss seinerseits durch seine Streckmuskeln, den *tibialis anticus* und *posticus*, den *peroneus*[1]) und die Strecker der grossen und der übrigen Zehen erhoben. Hierauf wird das Schienbein gleichfalls durch seine Strecker mässig erhoben, zuletzt und sehr stark das Oberschenkelbein durch den *musculus iliacus* und *psoas*, so, dass das Bein bedeutend verkürzt und das Knie zugleich nach vorwärts bewegt wird. Wenn sich dieses nun lothrecht über dem Orte befindet, wohin wir den linken Fuss setzen wollen, so hört man auf, die erhebenden Kräfte wirken zu lassen und gestattet dem Beine, sich zu strecken und aufzutreten, doch so, dass der Oberschenkel nach vorn geneigt bleibt. Auf diese Weise wird der Fuss angehalten und hält sich, von seinen Beugern gekrümmt, mit den Zehenspitzen am Boden fest. Wir müssen sodann mit dem rechten Fusse schreiten, oder diesen Fuss, am linken vorbei, nach vorn bewegen. Wir erheben daher die Ferse des rechten Fusses so, dass dieser zunächst den Boden blos mit den Zehenspitzen berührt, dann ihn aber auch mit diesen verlässt. Zu gleicher Zeit strecken wir die *tibia* und beugen den Oberschenkel durch den *musc. iliacus* und *psoas*, wodurch der Fuss kürzer wird, und werfen so das ganze, unterhalb gekrümmte Bein vorwärts. Hierbei bietet das auf dem linken Beine ruhende Becken den hebenden Muskeln des Schenkels einen festen Anhalt. Wir pflegen diese Bewegungen zu unterstützen, wenn wir blos der Natur und nicht eingebildeten Schicklichkeitsgesetzen folgen, indem wir den ganzen Rumpf, welcher auf dem Oberschenkel des unbeweglichen linken Beins ruht, vorwärts neigen, sowohl durch absichtliche Erschlaffung der Streckmuskeln, als durch Anspannung des *musc. psoas* und *iliacus* der unbeweglichen Seite, und der geraden und schiefen Bauchmuskeln. So pflegen die Alpenbewohner ihre Berge mit vorwärts gebogenem Körper zu besteigen und nicht, wie wir, zu ermüden, die wir uns überreden, die aufrechte Haltung sei eine Zierde. Indem nun so der

[1]) Die *muscc. tibialis posticus, peroneus longus* und *brevis* sind weder Streck- noch Beugemuskeln, sondern bewirken fast ausschliesslich die Adduktion und Abduktion des Fusses. Sie dienen daher vielmehr, den Körper zu balanciren, sobald er nur auf einem Beine steht, und daher in grosser Gefahr ist, ausser Gleichgewicht zu kommen (s. § 88).

Körper nach vorwärts geneigt ist, würden wir nothwendig fallen, weil eine durch den Schwerpunkt gefällte Linie vor den feststehenden Fuss fällt, und wir fallen wirklich, wenn wir den vorgerückten rechten Fuss aufzusetzen versäumen. Bei gesundem und aufmerksamem Geiste aber setzen wir jetzt den rechten Fuss auf den Boden, indem wir seine Strecker erschlaffen, seine Beuger dagegen anspannen, sodass das Perpendikel zwischen ihn und den linken Fuss fällt und ergreifen dann die Erde durch Anspannung der Zehenbeuger."

Ferner beschreibt Haller das Laufen und Springen a. a. O., § 4, mit folgenden Worten:

„Das Laufen unterscheidet sich von dem Gehen nicht allein der Geschwindigkeit, sondern auch der Art nach. Der Fuss wird durch den *musc. soleus* und die *gastrocnemii* so rückwärts erhoben und verkürzt, dass er anfangs mit den Zehen noch den Boden berührt, dann nicht einmal mit den Zehen mehr, sondern rückwärts ganz aufgehoben und seine Sohle nach hinten gekehrt wird. Daher sind alle Thiere langsam, welche mit der ganzen Fusssohle aufstehen, wie der Mensch oder der Bär, geschwinder die, welche mit den ganzen Zehen, wie die Vögel, am geschwindesten die, welche nur mit den Zehenspitzen aufstehen, wie die Hunde und Pferde. Ferner wird die *tibia* durch ihre Beuger in die Höhe gezogen, das Knie springt nach vorn vor und der Oberschenkel wird gleichfalls mehr gehoben, sodass die abwechselnd entgegengesetzte Lage der Winkel, welche die Knochen in den Gelenken des Fusses, der *tibia* und des Oberschenkelbeins bilden, noch sichtbarer wird, und diese Knochen, wenn sie ausgestreckt werden, um einander, wie um Drehpunkte, desto grössere Kreisbögen beschreiben, wodurch der Körper ein weit grösseres Stück fortrückt. Zugleich wird der Körper, sowie auch die Arme, in viel höherem Grade und unzierlicher als beim Gehen, vorgebeugt, damit der Körper durch sein eigenes Gewicht vorwärts eilt. Dieses ist wohl auch mit eine Ursache der Athemlosigkeit, denn man athmet nicht gut, wenn der Körper vorwärts gebogen ist."

„Ebenso wie der Lauf eine viel heftigere Bewegung ist als der Gang, ist wiederum der Sprung eine viel heftigere Bewegung als der Lauf. Beim Sprunge sind sogleich vom Anfange an die Beugungen weit grösser: die Füsse werden schräg gegen die Erde gesetzt, die *tibiae* auf ihnen nach vorne durch die *muscc. tibiales antici* und *postici*, *peronei* und die Beuger der Zehen herabgesenkt und der Erde genähert, als sollten sie in sie sich einbohren; der Winkel am *talus* wird sehr auffällig; das Knie springt ferner sehr deutlich vor; die *tibia* wird durch ihre eigene Kraft gegen den Oberschenkel gezogen und die Oberschenkel legen sich durch dieselben Beugemuskeln auf die *tibia*, das Becken aber und der ganze Körper auf die Oberschenkel auf. Dann werden die Schenkel vorn an den Leib gezogen, damit der Mensch um vieles kleiner werde. Hierauf wird der Körper plötzlich mit grosser Kraft gestreckt, die Füsse werden durch die Wadenmuskeln rückwärts, die *tibia* durch ihre Strecker vorwärts, die Oberschenkel durch die *glutei* gleichfalls rückwärts, so auch der ganze übrige Körper rückwärts erhoben, und mit eins wird nun der ganze Körper vom harten und Widerstand leistenden Boden, gegen den man stemmt, in die Höhe geworfen."

§ 159.

Barthez.

Barthez hat in seiner Mechanik der Bewegungen des Menschen die Meinungen seiner Vorgänger theils wiedergegeben, theils bestritten, ohne selbst eine deutliche Vorstellung von diesen Bewegungen gehabt

zu haben. Es ist daraus in seinen Erklärungen eine solche Dunkelheit und Verworrenheit entstanden, dass man ihm in seiner Theorie nicht schrittweise folgen kann, sondern die Meinungen, die er aufstellt, einzeln betrachten muss.

Die Richtung der Streckkraft der Beine giebt er, wie Borelli, richtig an, als durch beide Endpunkte des Beins bestimmt. Die weiteren Auseinandersetzungen Borelli's aber, wie diese Streckkraft wirke, hat Barthez nicht verstanden, wie aus seiner Abhandlung vom Sprunge hervorgeht. Er meint, die Deduktion Borelli's, welche doch unmittelbar aus den Elementen der Mechanik hervorgeht, beruhe auf willkürlichen Hypothesen und unrichtigen Folgerungen desselben. Barthez giebt zwar zu, dass, wenn ein Streckmuskel des Beins verkürzt wird und das Gelenk sich dadurch streckt, die beiden Enden des Beins sich mit gleichen, aber entgegengesetzten Kräften von einander zu entfernen streben; er meint aber, dass durch diese Bewegung kein Sprung erzeugt werden könne, auch wenn sich das eine Ende des Beins (das Fussende) gegen den Boden stemmt, weil nämlich mit derselben Kraft, mit welcher der Schwerpunkt in die Höhe getrieben wird, auch der Fuss an den Boden angedrückt und an ihm festgehalten werde, und dass, weil beide Kräfte sich das Gleichgewicht hielten, der Körper sich vom Boden nicht entfernen könne. Barthez hat nämlich vergessen, dass diese Kraft, welche nach ihm den Fuss am Boden festhält, vom Widerstande des Bodens aufgehoben wird, und also zu wirken aufhört. Es bleibt folglich nur der nach oben wirkende Theil der Streckkraft übrig, und dieser wird, wenn er die Schwerkraft des Körpers übersteigt, denselben aufwärts bewegen. Der Körper aber fährt mit der erhaltenen Geschwindigkeit sich zu bewegen fort, auch wenn die Kraft bereits zu wirken aufgehört hat, erhebt sich daher über den Boden, bis die stets fortwirkende Schwerkraft die Bewegung nach und nach wieder aufhebt und den Fall des Körpers bewirkt, wie dies Borelli sehr gut auseinandergesetzt hat. Statt dieser sehr einfachen und klaren Auseinandersetzung Borelli's über das Wesen der Streckkraft, giebt Barthez eine weitläufige und unklare Beschreibung der Bewegungen und Drehungen der einzelnen Knochenenden, ohne die Art und Weise anzugeben, wie nun eigentlich die Streckkraft den Schwerpunkt fortbewege. Er scheint wie Haller zu glauben, dass, wenn der Rumpf gegen die Beine durch Muskeln gebeugt werde, diese Muskelwirkung allein schon zur Versetzung des Schwerpunktes hinreicht, beruft sich dabei aber, wie Haller, auf die Festigkeit des Stützpunktes, ohne zu bedenken, dass diese Festigkeit die Wirkung des Erdbodens ist. Das Princip der anfänglichen Stellung endlich giebt er richtig an, wie es bereits Borelli ausgesprochen hatte, dass nämlich im Augenblicke, wo der hintere Fuss aufgehoben

wird, der Schwerpunkt sich vertikal über der Fussspitze des vorderen Beins befinde.

Bei näherer Prüfung ergiebt sich daher, dass Barthez in seiner ausführlichen Arbeit gar nichts Neues in der Lehre vom Gehen begründet, sondern mehrere wesentliche und richtige Behauptungen von Borelli entlehnt, sie aber mit anderen irrigen Behauptungen verflochten hat, welche hindern, seiner Arbeit im Zusammenhange zu folgen. Wir fassen das Wesentliche dieser Arbeit in folgendem Auszuge zusammen.

„Gesetzt," sagt Barthez, *Nouvelle mécanique des mouvements de l'homme et des animaux, Carcassone 1798, page 50* (in Sprengel's Uebersetzung S. 99ff.), „dass bei dem gewöhnlichen Gange die Füsse beim Beginne neben einander standen; so wird das Bein, womit man einen Schritt thut, durch die Beugemuskeln des Hüftgelenks vom Boden erhoben und nach vorn gesetzt: darauf wird dieses Gelenk gestreckt und das Bein wieder auf den Boden fixirt. Inzwischen bewegt sich der Schwerpunkt des Körpers, der anfangs von dem anderen Beine unterstützt wurde, nach vorne, und die Vertikallinie dieses Punktes fällt nun zwischen die Beine." —

„Gesetzt, unmittelbar vor dem Gehen stehe ein Bein vor dem anderen, so soll das hintere Bein, das in Vergleich mit dem Rumpfe von hinten nach vorn geneigt ist, vorgesetzt werden. Der Fuss dieses Beins erhebt und bewegt sich, indem durch eine Art von kreisförmiger Bewegung die Theile desselben von der Ferse bis zur Spitze der Zehen einer nach dem anderen vom Boden entfernt werden. Dieses Bein, welches auf solche Weise mit seinem Fusse sich gegen die Erde stemmt, wird nach oben und vorn getrieben und treibt den Schwerpunkt des ganzen Körpers gleichfalls nach oben und vorn. Der Schwerpunkt kann um so leichter fortgeschoben werden, je mehr der Körper vermöge der Zusammenziehung der Bauchmuskeln und der vorsätzlichen Neigung des Kopfes und Rückgrats nach vorn gebogen wird. Auf diese Weise erhält der Körper einen solchen Stoss, dass er über die Stütze, die ihm das feststehende Bein darbietet, hinauszueilen geneigt ist. Aber der Stoss, den der Körper von dem gestreckten anderen Beine erhält, entfernt endlich auch dieses Bein selbst vom Boden, das sich alsdann weiter nach vorn begiebt, als der Körper, um sein Fallen zu verhindern. In dieser Absicht wird das Bein, welches den ersten Anstoss gab, sobald es vom Boden gehoben ist, so viel als nöthig ist, um das Hüftgelenk gedreht, während das Rückgrat wieder aufgerichtet und durch seine Streckmuskeln nach hinten gezogen wird.[1]) Dabei bleibt das Kniegelenk gestreckt und das Fussgelenk gebogen. Wenn der Fuss alsdann auftritt, so stützt er anfangs nur mit der Ferse; aber gleich darauf dreht er sich mit seinem vorderen Theile um den *calcaneus* so, dass zuletzt nur seine Spitze sich auf den Boden stützt." —

„Bei dem gewöhnlichen und natürlichen Gange wird nicht allein das Bein, dessen Fuss sich erhebt, gegen das Becken erhoben, sondern es giebt auch dem letzteren einen Stoss,[2]) der seine Fortbewegung unterstützt. Diese Fortbewegung wird

[1]) Der menschliche Rumpf behauptet, wie wir § 91 nachgewiesen haben, beim Gehen und Laufen stets eine fast gleichmässige Neigung, welche von der Geschwindigkeit der Fortbewegung abhängt.

[2]) Beim natürlichen Gange wenigstens findet ein solcher Stoss nicht Statt; wir haben vielmehr nachgewiesen, dass man unmittelbar, bevor man den Boden mit dem einen Beine verlässt, dessen Streckkraft in der Regel aufhören lässt zu wirken, sodass der Körper etwas fällt.

also nicht ausschliesslich durch die Beuger der Hüfte und der Ferse des feststehenden Beins bewirkt. Die Anstrengung, welche die Fortbewegung verursacht, ist folglich unter eine viel grössere Anzahl von Muskeln beider Beine vertheilt. Das Bein, dessen Fuss sich erhebt, theilt während der ganzen Zeit, wo es die Erde berührt und den Körper nach vorn treibt, die Unterstützung des Körpers mit dem anderen Beine, dessen Fuss feststeht, sodass das letztere eine desto kürzere Zeit die ganze Last des Körpers allein trägt.“ —

„Es entsteht die Frage, auf welche Weise das hintere Bein, während es sich gegen den Boden stemmt, nach vorn getrieben werden und den Schwerpunkt mit sich fortziehen kann. Die Ursache dieser Bewegung nach vorn, die dem Beine und dem ganzen Körper mitgetheilt wird, ist keineswegs in der Gegenwirkung des Bodens zu suchen, gegen welchen sich der Fuss dieses Beins stemmt. Borelli und mit ihm alle Schriftsteller, die ihm in der Erklärung des Gehens gefolgt sind, haben die Theorie dieses eingebildeten Gegenstosses angenommen“[1])

„Ich werde die wahre Ursache angeben, warum, wenn bei der fortschreitenden Bewegung der eine Fuss anfangs vor dem anderen stand, das hintere Bein, während sein Fuss sich gegen die Erde stemmt, einen Antrieb bekommt und sich fortpflanzt, der den Körper nach oben und vorn bewegt. Diese Ursache liegt darin, dass die Streckmuskeln der Ferse, welche, wenn der Fuss frei in der Luft schwebte, den Winkel des Fersengelenks vergrössern würden, indem sie die Spitze des Fusses um dieses Gelenk nach hinten drehten, die Ferse vielmehr erheben, sobald die Fussspitze gegen den Boden stemmt und das Bein von hinten nach vorn geneigt ist. Sie können alsdann nicht wirken, als insofern sie die Ferse um den Unterstützpunkt drehen lassen, den die Fussspitze darbietet; dadurch aber erheben sie die Ferse. Da zugleich das hintere Bein von hinten nach vorn geneigt ist, so treibt die sich erhebende Ferse das Schienbein nach vorn, und hierdurch wird dann auch der Rumpf nach oben und vorn getrieben. Diese Bewegung, wobei sich der Körper um den Stützpunkt des Beins dreht, könnte endlich den Fall desselben herbeiführen; sie kann aber den Körper niemals von der Erde losreissen (in der Art, wie sich der Körper beim Springen von der Erde losreisst).“ —

„Nachdem ich die Bewegungen, die jeder Fuss beim natürlichen Gehen ausführt, beschrieben und erklärt habe, so muss ich nun untersuchen, in welcher Ordnung bei fortgesetztem Gehen die Bewegungen des einen und anderen Fusses auf einander folgen. Beim natürlichen Gange verlässt der eine Fuss nicht eher die Erde und bewegt sich fort, als bis der andere ganz oder doch grossentheils auf den Boden gesetzt worden ist. Der fortgesetzte Fuss tritt auf den Boden, während der andere sich noch mit seiner Spitze stützt. Endlich ist die Vertikallinie des Schwerpunktes, welche, als der eine Fuss sich fortzubewegen anfing, über den anderen Fuss fiel, wenn jene Bewegung zu Ende ist, weit vorgerückt, so dass sie zwischen die Stützpunkte beider Füsse fällt.“ —

„Das Laufen[2]) des Menschen besteht in einer fortschreitenden Bewegung, bei welcher die Schritte meist eben so gross sind als beim gewöhnlichen Gehen; aber mit einer viel beträchtlicheren Schnelligkeit wiederholt werden.“

[1]) Wir übergehen die Gründe, die Barthez gegen Borelli vorbringt, weil die Verwirrung seiner Begriffe aus der folgenden Auseinandersetzung seiner eigenen Meinung hervorgeht, von der er bei einiger Ueberlegung erkannt haben würde, dass sie auf den nämlichen Grund zurückführe, den er widerlegt zu haben glaubt.

[2]) A. a. O. S. 117.

§ 160.

Magendie.

Magendie erklärt den Mechanismus, durch welchen sich der Mensch vorwärts bewegt, auf die Weise, dass das Becken in Folge der Streckung des hinteren Beins um den Schenkelkopf des vorderen Beins, welches fixirt sei, sich drehe, wobei der Schenkelkopf des hinteren Beins einen horizontalen Kreisbogen von hinten nach vorn beschreibe, und so wechselsweise fort. Diese Erklärung des Gehmechanismus widerspricht aber gänzlich aller Erfahrung. Die Fortbewegung des menschlichen Körpers würde dieser Ansicht zu Folge ausschliesslich auf der Drehung des Beckens beruhen, eine Bewegung, welche allerdings bei manchen Menschen sichtbar ist, welche aber, wenn sie merkbar ist, als ein Fehler anerkannt wird, und das Gehen sehr verunstaltet. Aber abgesehen davon, dass diese drehende Bewegung des Beckens gar nicht nothwendig ist, und verhindert werden kann, so würden auch die Schritte eines nach diesem Principe konstruirten Ganges viel zu klein ausfallen, weil sie nur der Sehne des Kreisbogens gleich wären, welchen der Halbmesser (von einem Schenkelkopfe zum anderen gerechnet) jedes Mal beschreibt und folglich die grössten Schritte, die man machen könnte, noch kürzer, als die doppelte Länge dieses Halbmessers sein müssten.

Folgendes ist die Uebersetzung von Magendie's eigenen Worten (siehe Magendie's Grundriss der Physiologie, übersetzt von Heusinger, S. 273).

„Nehmen wir den Menschen als aufrecht stehend an, seine beiden Füsse neben einander, so muss er den einen Schenkel nach dem Becken und den Unterschenkel nach dem Oberschenkel beugen, um den Fuss durch die allgemeine Verkürzung der Glieder vom Boden zu entfernen. Mit der Verkürzung des Schenkels ist die Fortbewegung des ganzen Schenkels nach vorn verbunden. Dann stützt sich das Glied auf den Boden, zuerst tritt die Ferse auf und allmählig die ganze untere Fläche des Fusses. Während diese Bewegung geschieht, erleidet das Becken eine drehende Bewegung in horizontaler Richtung auf dem Kopfe des Schenkels des Gliedes, welches unbeweglich geblieben ist. Diese Drehung des Beckens auf dem Schenkelbeinkopfe hat zur Folge, 1. dass das ganze Glied, welches sich vom Erdboden entfernte, nach vorn gerichtet wird, 2. dass auch die Seite des Körpers, welche dem Gliede, das sich bewegt, entspricht, nach vorn gerichtet wird, während die Seite, welche dem unbeweglichen Gliede entspricht, zurückbleibt. Bis hierher ist noch keine Fortbewegung erfolgt, nur die Unterstützungsfläche ist verändert. Um den Schritt zu vollenden, muss sich das noch hinten zurückgebliebene Glied nähern, sich mit dem nach vorn gerichteten in gleiche Linie stellen, oder noch vor dasselbe hinausgelangen. Um dieses zu bewerkstelligen, entfernt sich der hintere Fuss von dem Erdboden und zwar allmählig von der Ferse bis zur Spitze durch eine drehende Bewegung, deren Mittelpunkt in der Gelenkverbindung der Mittelfussknochen mit den Gliedern der Zehen liegt, so, dass der Fuss am Ende dieser Bewegung nur mit den letzteren noch den Boden berührt. Aus dieser Bewegung des Fusses entspringt eine Verlängerung

des Gliedes, durch welche die dem letzteren entsprechende Seite des Rumpfes nach vorn gerichtet und eine Drehung des Beckens auf dem Schenkelkopfe des zuerst nach vorn gelangten Gliedes bewirkt wird. Ist diese Bewegung hervorgebracht, so beugt sich das Glied, das Knie wird nach vorn gerichtet, der Fuss vom Boden entfernt, sodann vollbringt das ganze Glied dieselben Bewegungen, welche das der entgegengesetzten Seite vorher vollbracht hat. Durch die Aufeinanderfolge dieser Bewegungen der unteren Gliedmaassen und des Rumpfes entsteht das Gehen, bei dem also die Köpfe der beiden Schenkelbeine abwechselnd die festen Punkte sind, auf welchen sich das Becken wie auf einer Angel dreht, indem es Kreisbögen beschreibt, welche um so grösser, je grösser die Schritte sind."

§ 161.

Gerdy.

Von P. N. Gerdy besitzen wir eine Abhandlung „über den Mechanismus des menschlichen Ganges", welche zuerst in Magendie's *Journal de Physiologie* Tom. IX, 1829 erschienen und in der *Physiologie médicale didactique et critique par* Gerdy wieder abgedruckt ist. Er hat darin alles Vorhandene sehr vollständig gesammelt und eine detaillirte Beschreibung aller sowohl nothwendigen, als zufälligen Bewegungen, welche das Gehen und Laufen begleiten, so genau als möglich war, gegeben, wenn er blos auf die *unmittelbare* Beobachtung gehender und laufender Menschen sich beschränkte. Rücksichtlich der Erklärung oder der theoretischen Betrachtung des Mechanismus des Ganges und Laufens hat er dem schon Vorhandenen wenig Neues hinzugefügt, sondern schliesst sich, wo er sich darauf einlässt, mehr oder weniger der Meinung eines seiner Vorgänger an. Wir machen daher hier nur auf die irrige Meinung aufmerksam, als müsse der menschliche Körper, wie beim Stehen, so auch beim Gehen stets senkrecht unterstützt sein, da vielmehr der Körper, wenn er durch die Streckkraft des Beins in horizontaler Richtung beschleunigt werden soll, nicht senkrecht von demselben unterstützt sein darf, sondern das Bein im Durchschnitte eine so geneigte Lage haben muss, dass es die Richtung der Diagonale zwischen der senkrecht wirkenden Schwerkraft und der horizontal wirkenden Kraft des Widerstandes, den der Körper findet, hat.

Folgender Auszug aus Gerdy's Abhandlung giebt eine vollständige Uebersicht von dieser Arbeit.

Bewegungen und Mechanismus des Gehens.

Bewegungen der unteren Glieder. „Wenn ein aufrecht stehender Mensch beim ersten Schritte mit dem rechten Fusse aussetzt, so streckt sich derselbe, treibt das Gewicht des Körpers auf das entgegengesetzte Bein, macht sich vom Boden los

und begiebt sich vorwärts. So wie er sich aber davon losgemacht hat, stemmt das linke Bein gegen den Boden und treibt den Körper nach oben, vorn und rechts, so, dass er sich erhebt, sich neigt, zu fallen beginnt und wirklich fallen würde, wenn sich nicht das rechte Bein ihm sogleich als Stütze darböte. Dieses Bein streckt sich darauf nach vorn und unten und tritt in demselben Momente auf den Boden auf, wo die Schwerlinie die Unterstützungsfläche eben verlassen hat, welche ihr der Fuss des anderen Beins bot. Kaum ruht dieser auf dem Boden, so fängt schon wieder das linke Bein an, sich vom Boden los zu machen, eben so, wie es das rechte Bein gethan hatte, treibt vollends die Last des Körpers auf das rechte Bein und begiebt sich nach vorn. Während dem stemmt der rechte Fuss seinerseits gegen den Boden und treibt den Körper nach vorn und links, so, dass dieser sich wieder auf die Fussspitze erhebt, zu fallen beginnt und in dieser Richtung ohne Zweifel fallen würde, wenn sich nicht das linke Bein in demselben Augenblicke auf den Boden niederliesse, wo die Schwerlinie fortschreitend die Unterstützungsfläche, die sie im rechten hinteren Fusse fand, eben verlassen hat. So kann der Gang fortgesetzt werden, bis der Wille oder die Müdigkeit ihm eine Grenze setzt."

„Man kann sonach 5 Klassen von Erscheinungen unterscheiden, welche die unteren Glieder während des Gehens wechselsweise darbieten: 1. sie strecken sich und treiben den Schwerpunkt in die Höhe, vor- und seitwärts; 2. sie lösen sich vom Boden; 3. sie begeben sich nach vorn; 4. sie treten wieder auf den Boden auf; 5. sie übernehmen in dem Augenblicke, wo sie sich daselbst niederlassen, den grössten Theil der Körperlast. Wir wollen jetzt bei jeder dieser Erscheinungen verweilen, um, wo möglich, ihren Mechanismus kennen zu lernen.

1. Die Ausstreckung eines Beins geschieht dadurch, dass sich der Oberschenkel gegen das Becken, der Unterschenkel gegen den Oberschenkel streckt und der Fuss sich nach unten beugt. Es wird dadurch länger und muss folglich sowohl die Erde, auf der es ruht, als auch das Becken, welches es trägt, zurückstossen. Aber da der Boden diesem Drucke Widerstand leistet, entfaltet sich das Bein nur nach oben und wirkt auf den Körper, welcher nachgiebt und sich durch denselben Mechanismus, wie ein vom Schiffer fortgestossener Nachen, bewegt. Jedesmal, dass sich ein Bein vom Boden losmacht, giebt es der Körperlast einen Stoss, der sie auf das andere Bein wirft. Auch beim ersten Schritte thut es das Bein, welches sich zuerst bewegt, obgleich der Stoss viel schwächer als bei den folgenden Schritten ist. Man nimmt ihn wahr, wenn man darauf Achtung giebt, oder man kommt vielmehr von selbst darauf, wenn man darüber nachdenkt: denn offenbar kann sich ein Glied nicht mit Sicherheit nach vorn begeben, bis es sich seines Theils der Körperlast entledigt hat. Aber dieser erste Anstoss ist meiner Meinung nach zu gering, um den Schwerpunkt über das unbewegliche Glied hinauszubewegen. Die Stösse bei den folgenden Schritten scheinen mir aber nachdrücklich genug zu sein, um diese Wirkung zu haben, und sie thun noch mehr als dieses.

2. Die Beine verlassen den Boden, indem sie den Fuss von ihm lösen und sich von unten auf in ihren Gelenken zusammenfalten. Der Fuss löst sich vom Boden, indem er sich nach unten beugt und sich von der Ferse gegen die Spitze hin frei macht. Darauf dreht er sich von hinten nach vorn um eine Axe, welche durch den Kopf des Mittelfusses geht, und beugt sich fast rechtwinkelig gegen den Rücken der Zehen, die auf dem Fussboden aufliegen. Sollte vielleicht diese Bewegung der Grund sein, dass die Gelenkflächen der Mittelfussknochen, die dieselbe bewirken, sich so sehr weit nach oben fortsetzen und sich dadurch so auffallend von den Handwurzelknochen unterscheiden?

3. Die unteren Extremitäten bewegen sich nach vorn in Folge des Stosses, den

sie sich selbst ertheilt haben, und durch die Vorbeugung des Beckens, das sie mit sich fortzieht.[1])

4. Sie treten auf den Boden, wenn der Schenkel nach vorne und unten gestreckt ist. Dabei beugen sie kaum den Unterschenkel, halten den Fuss horizontal oder fast horizontal und stützen ihn gegen den Boden, bald auf einmal, bald allmählig von der Ferse nach der Spitze hin, und genau in der Zeit, wo der hintere Fuss sich von der Ferse nach der Spitze zu losmacht und folglich die entgegengesetzte Bewegung ausführt.

5. Die Beine übernehmen und stützen den Schwerpunkt auf etwas verschiedene Weise beim ersten und bei den nachfolgenden Schritten. Beim ersten Schritte erhält das unbeweglich bleibende Glied den Schwerpunkt von dem anderen vorschreitenden nur sanft zugeschoben. Wegen dieses sanften Stosses strebt er nicht so, über die Grenze der Basis des unbeweglichen Fusses sich hinaus zu bewegen und ist daher ruhiger unterstützt. Dessenungeachtet weicht das Bein aus und neigt sich nach vorn und links, indem es sich schwach im Fussgelenke beugt. Bei den folgenden Schritten übernimmt jedes Bein den grösseren Theil der Körperlast in demselben Augenblicke, wo es auf den Boden auftritt, weil die rasch fortschreitende Schwerlinie in demselben Momente die Grenze der Unterstützungsbasis, welche ihr der zurückbleibende unbewegliche Fuss gewährte, überschreitet, oder kurz zuvor überschritten hat. Ich lege besonderen Nachdruck auf das Zusammentreffen der Ankunft des vorderen Beins am Boden mit dem Augenblicke, wo die Schwerlinie den unbeweglichen Fuss verlässt, weil sie aus einer wunderbaren Berechnung des Instinktes hervorgeht, und Niemand bisher darauf aufmerksam gemacht hat.“ —

„Ich sage, dass der Fuss, wenn er auf den Boden auftritt, mit dem grösseren Theile der Körperlast, welche er unmittelbar vorher übernommen hat, aber nicht mit der ganzen Last, darauf falle. Man kann sich davon überzeugen, wenn man einige Schritte mit Aufmerksamkeit geht. Man wird alsdann wahrnehmen, dass in demselben Augenblicke, wo der eine Fuss vorne hart auf den Boden fällt, der andere mit seiner Spitze hinten noch die Erde berührt und folglich noch einen kleinen Theil der Körperlast trägt; aber dieser Zeitraum ist sehr kurz: kaum ruht der eine Fuss vorn auf dem Boden, so macht sich der andere hinten los und schiebt dabei vollends die Last des Körpers auf den unbeweglichen Fuss und das ihm entsprechende Bein, welches dieser Bewegung nachgiebt und aus seiner schräg nach vorn und unten gerichteten Lage in die senkrechte übergeht. Wenn es darauf seinerseits den Schwerpunkt vorwärts schiebt, wird es nach unten und hinten geneigt, indem es sich wie eine Speiche um eine Axe dreht, welche durch den *Astragalus* horizontal von einer Seite zur anderen geht, und wird zuletzt selbst mit fortgezogen durch den Stoss, den es dem Körper mitgetheilt hat.

Bewegungen des Rumpfes beim Gehen. Während dieser Erscheinungen, von denen ich so eben eine kurze Beschreibung gegeben habe, sich an den unteren Extremitäten zeigen, sieht man andere am Rumpfe, welche die Folge der ersteren sind. Wir haben deren mehr aufzuführen, als man meines Wissens beschrieben hat. Denn ich weiss nur drei, die beschrieben worden sind, statt ich deren acht beschreiben werde. Jene drei Bewegungen des Rumpfes, die ich erwähnte, will ich nur kurz andeuten.

[1]) Die Drehung des Beins im Hüftgelenke, durch welche sich das Bein beim Gehen nach vorn bewegt, wird weder durch die eine, noch die andere der genannten Kräfte bewirkt, sondern wird vielmehr, wie wir nachgewiesen haben, allein durch die Schwere des Beins, d. h. durch Pendelschwingung bewirkt.

1. Der Körper bewegt sich abwechselnd nach rechts und nach links, nach dem Beine hin, welches auftritt und einen Augenblick ruht. Obgleich er nun wegen der schiefen Richtung der Stösse, die er von den unteren Extremitäten erhält, sich bei jedem Schritte nach vorn und nach einer Seite bewegt, so geht doch seine Gesammtbewegung gerade aus, weil jene Stösse im Durchschnitte sich gleich sind. Die Rechnung ergiebt, dass die daraus hervorgehende gerade Linie die Diagonale einer Reihe von Parallelogrammen ist, die aus diesen schiefen Stössen zusammengesetzt werden können.

2. Der Rumpf hebt sich und senkt sich wechselweise. Er hebt sich allemal, wenn der eine Fuss, sich selbst auf seine Spitze erhebend, ihm einen neuen Stoss mittheilt, bevor er sich selbst vom Boden entfernt; er senkt sich dagegen gleich darauf, während das frei gewordene Bein sich faltet und nach vorne bewegt.

3. Das Becken dreht sich vorwärts und in horizontaler Richtung auf dem unbeweglichen Schenkel des zurückbleibenden Beins und folgt daher dem anderen, mit ihm auf derselben Seite liegenden Beine, welches in derselben Zeit vorschreitet.

4. Die Brust und die Schultern drehen sich um eine senkrechte Axe, die durch die Wirbelsäule zu gehen scheint, besonders, wenn man mit den Armen balancirt. Bei dieser Drehung bewegen sich die Schultern wechselsweise nach vorne und zwar nach entgegengesetzter Richtung, als das Becken und die Beine auf ihrer Seite. Daher erhält der Rumpf in der Regel an beiden Enden gleichzeitig eine entgegengesetzte Drehung, sodass der Körper so zu sagen gewunden wird. Die Drehung des Beckens ist sehr auffällig, die der Brust und der Schultern ist es etwas weniger; aber bei gewissen Leuten, bei denen sie sich sehr bestimmt ausspricht, oder im Laufe, wo sie noch merklicher wird und mit einem sehr weiten Balanciren der Arme verbunden ist, kann sie, wie ich behaupten darf, Jeder wahrnehmen, wenn er aufmerksam ist, schon an den Schultern, gewiss aber an der Brust.

5. Jede Seite des Beckens hebt sich und senkt sich wechselsweise. Die Erhebung nimmt man stets auf der Seite des Fusses wahr, auf welchen sich die Last des Körpers entladet und stützt. Bei dieser Neigung dreht sich das Becken von oben nach unten auf dem Kopfe des unbeweglichen Schenkelbeins um eine Axe, die durch den Kopf horizontal von vorne nach hinten geht.

6. Während dem neigt sich der Körper, um auf dem Becken zu balanciren, in entgegengesetzter Richtung als das Becken selbst, so dass sich die Axe des Stammes seitlich gegen die Axe des Beckens beugt. In der That neigt sich bei jedem Schritte der Körper auf der Seite, auf welcher das Becken sich erhebt, und die Schulter tritt tiefer herab. Diese Bewegung geht von den Lendenwirbeln aus, setzt sich fort und wird von unten nach oben immer auffallender, weil man sie da in grösserer Entfernung von ihrem Ursprunge, am Ende eines grösseren Hebelarmes oder Radius beobachtet. Darum erkennt man sie leicht, wenn man die Augen von hinten auf den Kopf oder die Schultern eines gehenden Menschen richtet. Es fallen dann die grossen seitlichen Schwankungen des Körpers, besonders am Kopfe und an den Schultern auf. So bewirkt die gleichzeitige Neigung des Beckens und der Wirbelsäule die Beugung des Körpers wechselsweise nach rechts und nach links und diese Erscheinung wiederholt sich bei jedem Schritte.

7. und 8. Endlich findet am Rumpfe und besonders in den Rückenwirbeln eine fortwährende Thätigkeit Statt, welche durch die Kleider eines Menschen mit der Hand, bei einem nackten Menschen mit dem Auge wahrnehmbar sind. Sie scheint mir aber doppelter Art zu sein: die erste dieser Thätigkeiten erzeugt ein Anschwellen und offenbar vermehrte Festigkeit in den Wirbelmuskeln derselben Seite, auf welcher sich der Fuss vom Boden löst, erhebt und schwebt: die andere Thätigkeit

schwellt, wiewohl viel weniger, dieselben Muskeln auf der Seite des unbeweglichen Fusses. Diese beiden Thätigkeiten folgen unmittelbar eine auf die andere, und die der rechten Seite wechselt mit der der linken, wie die Schritte unserer Beine. Ich nenne die erstere die erhebende Thätigkeit (*l'effort d'élévation*), weil sie von der Zusammenziehung der Sacro-Spinalmuskeln abhängt, welche das Becken zu heben oder zu fixiren und dadurch das Bein vom Boden zu lösen und in der Luft schwebend zu erhalten suchen. Die zweite sucht den Stoss zu mässigen, der dem Rumpfe durch den hinten stehenden Fuss ertheilt wird, und den Fall des Körpers nach vorn zu verhindern. Ich nenne sie die stützende Thätigkeit (*effort de station*), weil sie es auch ist, welche beim Stehen dem Umschlagen des Rumpfes nach vorn widersteht, und von der beim Gehen vorzugsweise die Erhaltung des Gleichgewichts abhängt. Wegen dieser zahlreichen Bewegungen befindet sich der Rumpf beim Gehen in einer fortwährenden Thätigkeit: aber wegen der abwechselnden Versetzung des Körpers auf das eine und das andere Bein, wegen seiner seitlichen Beugungen und selbst wegen der Drehung der Schultern, schwankt er bei jedem Schritte auf eine der beiden Seiten.

Bewegungen der oberen Glieder. Ich werde darüber hier wenig sagen. Sie geschehen, wie man weiss, gewöhnlich in umgekehrter Richtung als die der unteren Glieder. Diese Bewegungen sind analog denen der Vorderbeine der meisten vierfüssigen Säugethiere und namentlich des Pferdes bei seinem gewöhnlichen und natürlichen Gange. Sie verschwinden, wenn wir mit auf der Brust oder dem Rücken gekreuzten Armen oder mit den Händen in den Taschen gehen, mit einem Worte dann, wenn die Arme an den Leib anliegen und ihrer Freiheit beraubt sind. Alsdann pflanzen sich die Drehungen des Beckens bis zu den Schultern fort, so dass diese sich gleichzeitig mit dem entsprechenden Beine vorwärts bewegen. In diesem Fall findet nur eine drehende Bewegung am Rumpfe Statt; der menschliche Gang erinnert alsdann so zu sagen an den Passgang der Thiere. Man sieht hieraus, dass der Mensch in seinem Gange mehr, als er glaubt, den Thieren ähnlich ist. Das Balancement der Arme, wenn sie frei sind, rührt von der Drehung der Schultern und der Brust her, welche ich bei den Bewegungen des Rumpfes beschrieben habe, und also, wie schon gesagt worden, von der Thätigkeit mehrerer schiefen Rumpfmuskeln, besonders denen des Bauches, welche vorzüglich Rollmuskeln des Körpers sind. Ich muss noch hinzufügen, dass diese Bewegungen der Arme zuweilen durch eine unwillkürliche Thätigkeit des *biceps brachialis* und vielleicht des *pectoralis major* und einen Theil des *deltoideus* vermehrt zu werden scheinen.“ —

Bewegung des Laufens.

Bewegung der unteren Glieder. „Die unteren Extremitäten begeben sich beim Laufe, wie beim Gange, wechselsweise die eine vor die andere. Beim ersten Schritt macht sich das eine Bein, z. B. das linke, plötzlich vom Boden los, erhebt sich, indem es sich wieder zusammenfaltet, und begiebt sich nach vorn. Währenddem beugt sich das rechte Bein in seinen Verbindungen, streckt sich heftig, wie beim Sprunge, und wirft den Körper in die Höhe nach vorn und links, so, dass der Läufer, wie der Springer, eine Strecke weit durch die Luft in einer parabolischen Bahn fliegt, deren Gipfel oder Scheitel dem Himmel zugekehrt ist. Unterdessen hat sich das linke Bein schon in allen seinen Gelenken gestreckt, und der horizontal gerichtete Fuss desselben fällt mit dem Gewichte des ganzen Körpers auf den Boden, und tritt seiner ganzen, oder fast seiner ganzen Länge nach auf. Das Gewicht des Körpers bleibt nicht auf dem linken Beine in Ruhe und Gleichgewicht, sondern geht

sehr schnell über dasselbe hinweg; denn die Bewegung, die sich der Läufer ertheilt hat, reisst es mit grosser Heftigkeit vorwärts. Das rechte Bein, welches so eben den Stoss ertheilte, hat sich jetzt bereits auf dieselbe Weise, wie das andere Bein, vom Boden losgemacht und begiebt sich nach vorn, so wie der linke Fuss auf den Boden sich stützt. Alsdann beugt der Läufer das linke Bein in seinen Gelenken, streckt es mit Heftigkeit wieder, und ertheilt sich einen neuen Stoss, aber nach vorn und links, macht einen zweiten Sprung, fällt auf den Boden zurück und wird nun durch eine noch grössere Kraft, als das erste Mal, vorwärts gerissen. Die Fortbewegung des Körpers beim Laufe ist weit heftiger als beim Gehen, in dem Grade als die Stösse, die er erhält, stärker und häufiger sind.

Bewegungen des Rumpfes. Beim Laufen ist der Körper weit heftiger bewegt als beim Gehen, und bietet alsdann zwei Klassen von Bewegungen dar: 1. diejenigen, welche man beim Gehen wahrnimmt, 2. unregelmässige Bewegungen. Zu der ersten Klasse der Bewegungen gehört die Drehung des Beckens und der Schultern, beide in entgegengesetztem Sinne; die Erhebung einer der Hüften, während die entsprechende Schulter sich senkt; die Erhebung des gesammten Rumpfes beim Beginne des Sprunges und die Senkung desselben im Augenblicke, wo er zu Ende geht; endlich die heftigen Anstrengungen, welche in den Muskeln der Wirbelsäule Statt finden und welche viel deutlicher als beim Gehen sind. Die Bewegungen der zweiten Klasse sind unregelmässig, weil sie in der That gar keiner Regel unterworfen sind. Es sind dies Schwankungen, welche von den heftigen Bewegungen, die der Läufer sich mittheilt, und von dessen Anstrengungen, das Gleichgewicht nicht zu verlieren, herrühren.

Bewegungen der oberen Glieder. Diese Glieder bewegen sich wie beim Gehen und aus denselben Gründen, nur sind dieselben weit merklicher.

Gleichgewicht beim Laufe. Wenn auch das Gleichgewicht im Laufe weit schwieriger zu erhalten ist als im Gange, so sind doch keine grossen Anstrengungen erforderlich, um sich zu erhalten. Die beiden Füsse kommen bei ihrer abwechselnden und schleunigen Fortbewegung spät genug an, um den Schwerpunkt zu unterstützen, wodurch eine mehr oder weniger schnelle Bewegung bewirkt wird."

§ 162.

Poisson.

Poisson hat im *Traité de mécanique*, seconde édition, tome II, Paris 1833, § 688 vom Gehen gehandelt, um einen Begriff von der Grösse der Arbeit eines gehenden Menschen oder Thieres mit Berücksichtigung der Last, die sie tragen oder ziehen, auf einem horizontalen oder geneigten Wege, zu geben. Es soll an diesem Beispiele die Anwendung des Princips der lebendigen Kräfte auf bewegte Maschinen erläutert werden. Er betrachtet die Bahn des Schwerpunktes und seine Geschwindigkeit in der Mitte jedes Schritts als gegeben, und zwar nimmt er an, dass die Bahn des Schwerpunktes ein Kreisbogen sei, der vom stehenden Beine als Radius beschrieben werde; in der Mitte dieses Kreisbogens stehe das Bein vertikal; in der zweiten Hälfte werde die Geschwindigkeit des Körpers nicht mehr durch Muskelkraft vermehrt; am Ende werde die noch vorhandene Geschwindigkeit durch das auftretende andere

Bein aufgehoben. Unter diesen Voraussetzungen berechnet er die Grösse der mit dem Gehen verbundenen Arbeit und findet sie gleich dem Produkte der Zahl der Schritte in das Gewicht des Körpers und in die Summe der Höhe, um welche der Körper bei jedem Schritte gehoben wird und der Höhe, bis zu welcher ein Körper mit der gegebenen Geschwindigkeit, wenn sie vertikal wäre, in die Höhe steigen würde. Dieses Resultat kann, weil es nach unseren Untersuchungen auf irrigen Voraussetzungen beruht, kaum näherungsweise zugelassen werden, doch kann man leicht die Verbesserung der Rechnung angeben, welche durch Einführung richtiger Voraussetzungen herbeigeführt wird. Es braucht nämlich nur die Höhe, bis zu welcher nach Poisson der Schwerpunkt in jener Kreisbahn in die Höhe steigt, mit der Höhe vertauscht zu werden, bis zu welcher der Schwerpunkt im Augenblick, wo das vordere Bein zur senkrechten Lage gelangt, plötzlich gehoben wird (siehe §§ 24, 92), und statt der lebendigen Kraft, die nach Poisson der ganze Körper in der ersten Hälfte des Schritts gewinnt und in der zweiten Hälfte wieder verliert, braucht nur die lebendige Kraft gesetzt zu werden, die das aufgehobene Bein in der Zeit, wo es schwingt, gewinnt, und in dem Augenblicke, wo es auftritt, wieder verliert. Alsdann erhält man die richtige Angabe über die Grösse der Arbeit, vorausgesetzt, dass die Luft sich mit gleicher Geschwindigkeit und nach gleicher Richtung, wie der Gehende, fortbewege. Wir wollen hier Poisson's Worte in der Uebersetzung vollständig mittheilen.

„Wenn ein Mensch sein eigenes Gewicht, was ich mit Π bezeichnen werde, zu einer vertikalen Höhe h über die Stelle, von der er ausging, trägt, so wird die Grösse der zu Stande gebrachten Arbeit mit Πh bezeichnet; aber diese Grösse würde eine sehr unvollkommene Vorstellung von den Muskelanstrengungen, die gemacht worden sind, und von der ganzen, von dem Menschen aufgewandten Kraft geben. Es ist sehr schwer, ein genaues Maass von dieser zu erhalten; man kann blos so viel zeigen, dass sie grösser, oft viel grösser sein müsse, als nach jener Angabe, die Null sein würde, wenn h Null ist, da doch gewiss eine Quantität mechanischer Arbeit vorhanden ist, welche dem Fortgang eines Menschen auf horizontaler Ebene entspricht.

Ich setze voraus, dass der Mensch beim Gehen zuerst den linken Fuss vor den rechten setze; sein Schwerpunkt liegt alsdann tiefer, unter seiner natürlichen Lage, um eine Grösse, die ich mit ε bezeichnen werde. Indem er sich auf seinen linken Fuss stützt und die Reibung dieses Fusses am Boden benutzt, führt der Mensch seinen rechten Fuss bis zu dem linken Fusse, sodann rückt der rechte Fuss dem linken vor und tritt endlich auf den Boden nieder, was einen ganzen aus zwei Theilen zusammengesetzten Schritt ausmacht. Nun erhebt der Mensch im ersten Theile seinen Schwerpunkt um die Höhe ε und bringt dadurch eine Arbeit zu Stande, deren Grösse gleich $\Pi\varepsilon$ ist; zugleich ertheilt er dem Schwerpunkte eine horizontale Geschwindigkeit, die ich für das Ende des ersten halben Schrittes mit a bezeichnen werde; dieses entspricht einer neuen Quantität Arbeit, die der halben lebendigen Kraft $\frac{1}{2}\frac{\Pi a^2}{g}$ gleich gilt, wo g die Schwere bezeichnet. Zu $\frac{1}{2}\frac{\Pi a^2}{g}$ sollte nun noch der Theil der halben Summe der lebendigen Kräfte, der von den relativen Geschwin-

digkeiten aller anderen Punkte des Körpers herrührt, zugefügt werden; aber ich werde davon in dieser Rechnung, die nur zu einer ungefähren Uebersicht dienen soll, absehen. Auch werde ich voraussetzen, dass die zweite Hälfte des Schrittes in Folge der am Ende der ersteren erlangten Geschwindigkeit und des Gewichts des Körpers, das zum Boden wieder herabfällt, so geschehe, dass während der letzteren der Mensch keine Kraft mehr gebrauche, und dass die vertikale und horizontale Geschwindigkeit, die sein Schwerpunkt am Ende des ganzen Schrittes noch besitzt, durch den Stoss und die Reibung seines rechten Beins am Boden aufgehoben werde. Unter dieser Hypothese wird die Grösse der Arbeit während des ganzen Schrittes der Summe $\Pi\varepsilon + \frac{1}{2}\frac{\Pi a^2}{g}$ gleich, oder $\Pi(\varepsilon + \alpha)$ sein, wenn man α die Höhe nennt, welche der Geschwindigkeit a zugehört, so, dass man $a^2 = 2g\alpha$ hat.

Hieraus folgt, dass für eine Zahl n von gleich grossen und ähnlichen Schritten die Grösse der Arbeit eines Menschen oder Thieres, das eine Last trägt und auf ebenem Wege geht, den Werth $nK(\varepsilon + \alpha)$ haben wird, wo K sein Gewicht Π um das Gewicht der Last vermehrt bezeichnet. Wenn das ganze Gewicht zur vertikalen Höhe h, vom Anfangspunkte an gerechnet, erhoben wird, muss Kh der Grösse $nK(\varepsilon + \alpha)$ beigefügt werden; und wenn die Last auf dem Wege fortgezogen wird, wo sie eine Reibung, die durch einen Theil F ihres Gewichts dargestellt wird, erleidet, so wird daraus eine andere Vergrösserung der Arbeit gleich Fl hervorgehen, wo l die Länge des zurückgelegten Weges bezeichnet."

§ 163.

Nachweisung der neuesten Untersuchungen über den Sprung.

Wir haben uns in der gegebenen Zusammenstellung auf diejenigen Schriften und auf die Stellen in denselben beschränkt, welche sich auf die lokalen Bewegungen des menschlichen Körpers, die einer stetigen Fortdauer fähig sind, beziehen. Den Sprung haben wir nur in so weit berücksichtigt, als er mit der Betrachtung des Laufens verflochten wurde. Wir verweisen Diejenigen, welche die neuesten Arbeiten über den Sprung kennen lernen wollen, auf die Abhandlung von Gottfried Reinh. Treviranus in dessen *Zeitschrift für Physiologie,* Bd. 4, Heft 1, S. 81—89 und von P. N. Gerdy in der oben angeführten *Physiologie médicale,* tome I, partie II, Seite 588—598 und 719—725. In der letzteren Abhandlung findet man auch eine historische Uebersicht der früheren Untersuchungen.

§ 164.

Schlussbemerkung.

Es geht aus der obigen historischen Uebersicht der bisher angestellten Untersuchungen über die lokalen Bewegungen des Menschen, des Gehens und Laufens, augenscheinlich hervor, dass man auf dem Wege, den man bisher verfolgt hat, zu klaren Begriffen von diesen Bewegungen weder gelangt ist, noch auch gelangen wird. Die Menge und Mannigfaltigkeit der Bewegungen beim Gehen und Laufen, wenn

man dabei alle Theile des Körpers zugleich betrachtet, ist zu gross, um beim blossen Anblicke die wesentlichen von den unwesentlichen, die nothwendigen von denjenigen zu unterscheiden, von denen das Gehen und Laufen nur zufällig begleitet wird, oder die selbst fehlerhaft und schädlich sind. Um diesen Zweck zu erreichen, ist man gezwungen, von blossen Beobachtungen zu Versuchen zu schreiten, d. h. statt sich auf den Anblick gehender und laufender Menschen im Allgemeinen zu beschränken, muss man die Hülfsmittel benutzen, die wir haben, um die zusammengesetzten Erscheinungen zu zerlegen und ihre einzelnen Theile und deren Zusammenhang zu erforschen. Man muss die Grösse, Gestalt und Verbindung der einzelnen Theile erforschen; ferner muss man die Bewegungen besonders untersuchen, in die sie unter gewissen Verhältnissen bloss von äusseren Kräften getrieben, wie z. B. durch die Kraft der Schwere, gerathen können. Man muss endlich beim Gehen selbst Zeit und Raum und Massen und Kräfte messen, und muss dieselben Versuche vielmals *wiederholen*, um die Messungen, die man nicht alle auf einmal machen kann, successive zu gewinnen, und muss endlich die Versuche vielfach *variiren,* um dasjenige, was bei diesen Bewegungen konstant ist, vom Variablen zu sondern, und für letzteres die Gesetze der Abhängigkeit zu suchen. Diesen Weg der Erfahrung, der in neuerer Zeit in so vielen anderen Theilen der Naturwissenschaften, und insbesondere auch in anderen Theilen der Physiologie eingeschlagen worden ist, haben wir in dem experimentellen Theile dieser Schrift versucht und dadurch eine viel umfassendere, erfahrungsmässige Grundlage für die Betrachtung des Gehens und Laufens gewonnen, als unsere Vorgänger.

Auf diesem Wege der reinen Erfahrung, mit Benutzung aller Mittel, die wir zu experimentellen Forschungen besitzen, würde es möglich sein, durch Genauigkeit und Beharrlichkeit zu einer wirklich vollständigen und klaren Kenntniss der Bewegungen des Gehens und Laufens zu gelangen, wenn der Genauigkeit der Versuche und Messungen nicht durch die Natur der Sache allzu enge Schranken gesetzt wären. Dazu würde erforderlich sein, dass man die Versuche und Messungen, so oft man wollte, immer mit gleichem Erfolge wiederholen könnte. Weil nun aber beim Gehen und Laufen an eine vollkommen übereinstimmende Wiederholung der Versuche und Messungen unter den in und ausser dem Körper stets wechselnden Verhältnissen nicht zu denken ist, so ist es unmöglich, auf dem Wege des Experiments allein zu den Gesetzen dieser Bewegungen zu gelangen. Da es aber viel leichter ist, ein Gesetz, wenn es schon aufgestellt ist, durch Versuche und Messungen zu prüfen und zu bestätigen, als, wenn es ganz unbekannt ist, durch Versuche und Messungen zu finden, so erkennt man daraus den Vortheil, den eine theoretische Betrachtung der Sache gewähren kann, wenn sie in der

Art angestellt wird, dass sie zu einem solchen Gesetze führt, und wie unentbehrlich diese Hülfsleistung der Theorie gerade in unserem Falle sei, um in das Chaos der verschiedenen Beobachtungen Ordnung zu bringen. Auch diesen Weg der Theorie haben wir im theoretischen Theile dieser Schrift betreten, und die Resultate, zu denen wir darauf gelangten, haben uns als ordnende Principe bei der Zusammenstellung unserer Versuche und Messungen gedient.

Es ist schon ein grosser Gewinn und ein bedeutender Fortschritt, wenn man durch eine solche theoretische Ansicht, wenn auch nur im Allgemeinen, zu ähnlichen Verhältnissen geführt wird, wie man beobachtet. Wie viele Theorien giebt es, die nicht weiter gediehen sind, und dennoch grosse Dienste leisten! Wir wollen hier als Beispiel nur erwähnen die wichtige Theorie von dem Widerstande, den die Luft und das Wasser allen darin bewegten Körpern leisten. Diesen Dienst leistet aber unsere Theorie. So führt sie zu ähnlichen Verhältnissen zwischen der Beinlänge und der Schrittdauer, als sie in der Natur beobachtet werden, und zwar sowohl, wenn man grosse, als wenn man kleine Menschen in Betracht zieht. Sie zeigt nämlich, dass beide Grössen zugleich wachsen und abnehmen müssen, die Beinlänge nämlich soll unter sonst gleichen Verhältnissen dem Quadrate der Schrittdauer proportional sein. Dasselbe Gesetz würde, wenn wir auf die Betrachtung der Thiere eingehen wollten, noch in einem viel weiteren Kreise bestätigt werden, wie schon aus einer oberflächlichen Vergleichung der Länge der Beine einer Fliege, einer Maus, eines Hundes, Pferdes u. s. w. mit der Schnelligkeit ihrer Schritte mit Wahrscheinlichkeit hervorgeht. Hierher gehört ferner die Thatsache, dass man, wenn man eine Last trägt, kleinere Schritte und die kleineren Schritte langsamer macht, als wenn man frei geht. Ganz der Erfahrung entsprechend zeigt uns die Theorie des Gehens, dass die Streckkraft bei dem geringen Widerstande, den uns die ruhende Luft entgegensetzt, zu gross sein würde, und dass wir daher in einer gewissen Zeit des Schritts dieselbe nicht wirken lassen. Die Folge davon ist, dass der Körper alsdann fällt, und daher zu Anfange des folgenden Schritts, oder dann wieder gehoben werden muss, wenn das andere oder vordere Bein senkrecht unter dem Körper steht. Die Theorie zeigt uns ferner, dass dieses Missverhältniss zwischen der Streckkraft und dem beim Gehen vorhandenen Widerstande abnimmt, wenn der Widerstand der Luft wächst (bei widrigem Winde), und dass demgemäss auch die vertikalen Schwankungen kleiner werden müssen. Umgekehrt ergiebt sich eben daraus, dass wir, bei wechselndem äusseren Widerstande, in diesen vertikalen Schwankungen unseres eigenen Körpers beim Gehen und Laufen ein Mittel haben, jedem vorhandenen Widerstande zu begegnen,

ohne unseren Gang im Wesentlichen zu verändern, was wir auch bei allen geübten Gängern wirklich beobachten. Hauptsächlich gehört aber hierher, das schon im ersten Theile erwähnte, sehr komplicirte Verhältniss zwischen der Höhe, in welcher der Körper über dem Fussboden hingetragen wird, der Geschwindigkeit des Gehens, der Schrittlänge und der Schrittdauer, wovon das verkehrte Verhältniss der beiden letzteren allein schon unsere Aufmerksamkeit bei den Versuchen sehr fesselte, dass nämlich die Schritte beim Gehen desto grösser sind, je kürzer sie dauern und je geschwinder sie also auf einander folgen. Solcher durch die Theorie bestimmter Verhältnisse würden sich noch sehr viele aufführen lassen, wenn nicht die Nachweisung ihres Grundes in der Theorie zu viel Raum erforderte, daher wir uns auf die angeführten Beispiele beschränken.

Unter diesen Umständen, wo die Theorie schon im einzelnen solche bedeutende Dienste leistet und so viel zur Uebersicht der verwickelten Resultate der Beobachtung beiträgt, scheint es nun ferner wichtig und der sorgfältigsten Beachtung werth zu sein, dass selbst die absoluten, nach Raum- und Zeitmaass gegebenen Werthe, oder ausgedrückten Resultate der Theorie näherungsweise mit den nämlichen Werthen, wie sie durch unmittelbare Messungen gefunden werden, übereinkommen (was bei vielen anderen Theorien, selbst wenn sie in der Hauptsache richtig sind, und daher im einzelnen manche Verhältnisse richtig darstellen, doch nicht der Fall ist, z. B. bei der blos auf das Mariotte'sche Gesetz begründeten Theorie der Fortpflanzung des Schalls durch die Luft). Fände zwischen beiden eine vollkommene Uebereinstimmung Statt, so müsste die Theorie sowohl, als die Messungen, als ganz vollendet und vollkommen betrachtet werden. Da wir nun aber wissen, dass unsere Messungen noch sehr unvollkommen sind, und der Natur der Umstände nach wahrscheinlich immer bleiben werden, so dürfen wir eine vollkommene numerische Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der Theorie und Erfahrung in diesem Falle gar nicht erwarten, und müssen uns mit einer genäherten Harmonie derselben nothwendig begnügen. Es ist interessant, den Werth dieser absoluten Bestimmungen der Theorie nach Raum- und Zeitmaass dadurch in's Licht zu setzen, dass man die Lage der Glieder beim Gehen und Laufen für jeden Zeitmoment nach gesetzlicher Vorschrift konstruirt und demgemäss zeichnet. Man besitzt ein Mittel, um sich zu überzeugen, dass diese Konstruktion so gut mit der Erfahrung übereinstimmt, als es bei der unvollkommenen Ausmessung des Körpers, auf die man sich stützen muss, möglich ist. Dieses Mittel besteht darin, dass man eine Anzahl so gefertigter Abbildungen, die den Menschen in den während zweier Schritte auf einander folgenden Stellungen dar-

stellen, auf der inneren Fläche eines Cylinders oder einer Trommel, die in so viele gleiche Fachwerke getheilt ist, als Abbildungen da sind, und eines darüber, im Kreise herum aufklebt, und zwar in jedem Fachwerke eine Abbildung, dabei aber allen Abbildungen in ihren Fachwerken verschiedene Plätze anweist, so dass jede folgende Figur in ihrem Fachwerke weiter vorgerückt erscheint, als die vorhergehende, in solchem Maasse, dass die mittelste Figur in ihrem Fachwerke gerade um eine Schrittlänge weiter, als die erste Figur vorgerückt erscheint. Die Grösse der Fachwerke muss der Länge eines Doppelschritts gleich sein. Wird nun diese Trommel auf einer Rotationsmaschine mit gleichförmiger Geschwindigkeit in der Zeit eines Doppelschritts einmal herumgedreht, und beobachtet man alsdann die Figuren durch ihnen gegenüber in der Wand der Trommel an entsprechenden Stellen aller Fachwerke eingeschnittene Oeffnungen, so erscheinen die Figuren dem Auge als gehend oder laufend, und ihre Bewegungen zeigen eine überraschende Uebereinstimmung mit den Bewegungen eines wirklich gehenden oder laufenden Menschen. Hätte man daher niemals einen Menschen gehen und laufen gesehen und wüsste nur das Verhältniss seiner Glieder, so könnte man sich mit Hülfe der Theorie eine mit der Erfahrung sehr wohl übereinstimmende Vorstellung von diesen Bewegungen verschaffen, und das, was dabei geschähe, voraussagen.

Erklärung

der

anatomischen Abbildungen

zur

Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge.

Die zur Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge gehörigen Abbildungen sind auf den am Schluss des Bandes angefügten 17 Tafeln dargestellt worden. Sie zerfallen in zwei Reihen, nämlich in die grösseren, nach der Natur gezeichneten Abbildungen des Skelets und der Gelenke und unmittelbaren Abdrücke der Knochen auf den ersten 11 Tafeln und in die kleineren Abbildungen und Figuren, welche zur Erläuterung des Textes dienen, auf den 6 letzten Tafeln. Die ersteren sind im Texte nach den Tafeln angeführt, und auf jeder Tafel sind, wenn sie mehrere Abbildungen enthält, die Figuren von 1 an gezählt. Die letzteren Abbildungen sind im Texte blos durch Angabe der Figur bezeichnet und die Zahlen dieser Figuren bilden auf den 6 letzten Tafeln eine fortlaufende Reihe. Ueberall, wo im Texte Figuren ohne Beifügung der Tafel angeführt sind, sind also die kleinen Figuren auf den 6 letzten Tafeln zu verstehen. Auf allen Tafeln sind den Figuren die Paragraphen, zu denen sie gehören, beigeschrieben worden.

Tafel I ist eine Kopie der Albinschen Abbildung des menschlichen Skelets.[1]) Nur hat der linke Arm, um der Ersparniss des Raumes willen, statt der aufgehobenen eine tiefere Stellung erhalten. Diese Kopie hat unter anderem den Zweck, zu zeigen, wie fehlerhaft diese Abbildung, die man für die beste hält, hinsichtlich der Neigung des Beckens sei. Der in dieser Beziehung in der Albinschen Abbildung Statt findende Fehler ist nur in so weit verbessert worden, als es zu Folge unserer bei Männern gemachten Messungen (§ 50) unumgänglich nothwendig war; denn diese verbesserte Abbildung stellt die Neigung des Beckens so dar, wie sie mindestens sein muss, um noch für normal gehalten werden zu können. Die Linie *ab* hat in der Albinschen Abbildung die Lage von *aβ*, und also beträgt der Winkel, um den das Becken gedreht worden ist, 21°. Mit der zu geringen Neigung ist auf der Albinschen Abbildung ein zweiter Fehler, der einer zu geringen Krümmung der Wirbelsäule, verbunden. Auch dieser ist hier berichtigt worden, und musste berichtigt werden, wenn man dem Becken die richtige Neigung geben wollte. — Die einzelnen Theile des Skelets sind in dieser, so wie auch in den folgenden anatomischen Abbildungen mit den Anfangsbuchstaben ihrer lateinischen Namen, die Hals-, Rücken- und Lendenwirbel und die Rippen mit den ihnen zukommenden Zahlen bezeichnet.

Tafel II Fig. 1 ist ein in aufrechter Stellung befindliches männliches Becken, um die Hälfte verkleinert, dessen vorderer Theil durch einen senkrechten, durch beide Schenkelköpfe geführten Sägeschnitt weggenommen worden ist (siehe § 61). Ein solcher Durchschnitt des Beckens und die Abbildung davon zeigen, dass das *ligamentum teres ab* senkrecht von der *incisura acetabuli* zum Grübchen des Schenkelkopfes in die Höhe steigt. Weil der Schnitt nicht durch die Centra der Schenkelköpfe, sondern etwas davor geführt worden ist, so ist das *ligamentum teres* nicht durchschnitten, sondern steigt an der Schnittfläche hin und ihr parallel herauf. Aus dieser Abbildung erhellt sogleich von selbst, dass die *ligamenta teretia* den Schenkelkopf nicht hindern können, aus der Pfanne heraus zu sinken, dass sie aber wohl das Becken und den Rumpf hindern können, während nur ein Bein fest steht und allein das Becken trägt, sich auf die andere Seite zu neigen und gegen dessen innere Seite

[1]) [Dieselbe ist in der gegenwärtigen Ausgabe auf $\frac{2}{3}$ der Grösse in der Originalausgabe verkleinert worden.]

herabzugleiten. CC ist die Drehungsaxe des Beckens. Nur um diese Axe kann sich dasselbe drehen, wenn beide Schenkelköpfe fixirt sind. — Auf der oberen Fläche des Kreuzbeins sieht man den letzten Zwischenwirbelknorpel horizontal durchschnitten. Die senkrecht verlaufenden ringförmigen Faserknorpellamellen erscheinen daher transversal durchschnitten.

Tafel II Fig. 2 sieht man einen zwischen den Lendenwirbeln gelegenen Faserknorpel im senkrechten Durchschnitte von hinten nach vorn. Die Faserknorpelringe erscheinen daher ihrer Höhe nach durchschnitten. Die merkwürdige Form, welche man an ihnen in dieser Ansicht bemerkt, scheint die Ursache ihrer Fähigheit zu sein, sich zusammendrücken und ausdehnen zu lassen und durch eigene Elasticität ihre vorige Gestalt wieder anzunehmen, sobald der Druck aufhört (siehe § 42).

Tafel III zeigt das rechte Kniegelenk von seiner äusseren Seite in gestreckter und gebogener Lage und insbesondere das *ligamentum laterale externum le* und sein Verhalten in beiden Lagen. In der gestreckten Lage *Fig. 1* ist das *ligamentum laterale externum* gespannt und hindert die weitere Streckung, weil die *radii vectores* von cc^{IV} nach cc^{V} zunehmen und daher den Ansatzpunkt *c* des Bandes bei weiterer Streckung in die Höhe zu steigen nöthigen und dadurch die Spannung des Bandes vermehren würden. — In der gebogenen Lage des Knies, *Fig. 2*, ist dasselbe Band erschlafft, weil die *radii vectores* von cc^{IV}, cc^{III}, cc^{II}, cc^{I} nach hinten zu abnehmen und folglich der Punkt *c* bei Beugung des Kniegelenkes herabsteigt. Die Seitenbänder gestatten daher wegen ihrer Schlaffheit in der gebogenen Lage des Knies auch eine horizontale Drehung des Oberschenkels auf der Oberfläche der *tibia*. *f* ist die Sehne des *musc. popliteus,* welcher durch ein eigenthümliches Band *gg*, das von der *fibula* zur Kapsel in der Kniekehle geht, in einer bestimmten Lage erhalten wird.

Tafel IV Fig. 1 zeigt das rechte Kniegelenk von seiner inneren Seite und an demselben das *ligamentum laterale internum.* Dasselbe ist breiter als das *externum.* Es erschlafft aus diesem Grunde nicht so vollkommen, sondern während ein Theil erschlafft, bleibt ein anderer mehr oder weniger gespannt, so, dass der diesem Bande näher liegende Kondylus, wenn der Unterschenkel bei gebogenen Knieen um seine Längenaxe gedreht wird, sich um sich selbst dreht und der äussere um ihn herumgeht.

Tafel IV Fig. 2 zeigt die Phalangen der grossen Zehe mit den beiden Sesambeinchen *ss*.

Tafel IV Fig. 3 zeigt, wie der Mittelfussknochen der grossen Zehe auf dem Sesambeinchen ruht und sich dreht, wie auf einer Unterlage, die ihre feste Lage am Boden nicht ändern kann. Ueber den Nutzen dieser Einrichtung siehe § 84.

Tafel V zeigt das linke Kniegelenk von der inneren Seite. Der *condylus internus* ist aber hinweggenommen, so dass man den *cond. externus* von seiner inneren Seite und das an ihm befestigte *ligamentum cruciatum anterius ca* sieht. *Fig. 1* zeigt diese Ansicht in der gestreckten Lage, *Fig. 2* in gebogener Lage des Gelenkes. In keiner von beiden Lagen ist das *ligamentum cruciatum anterius* in allen seinen Theilen gespannt. In der gestreckten Lage *Fig. 1* ist das Fascikel *a c a'* gespannt und das von ihm verdeckte Fascikel *c c'* erschlafft; in der gebogenen Lage *Fig. 2* ist das Fascikel *a c a'* erschlafft und das Fascikel *c c'* gespannt. Man sieht aus der Vergleichung beider Figuren, dass das *ligamentum cruciatum anterius* bei der Beugung eine Verdrehung oder Windung erleidet. — *c p* ist das untere abgeschnittene Ende des *ligamentum cruciatum posterius.* Wegen der Entfernung des inneren Kondylus ist die *cartilago semilunaris interna s i* auch von ihrer oberen konkaven Seite sichtbar. Die Figuren geben daher zugleich eine deutliche Vorstellung von der Gestalt und dem Verlaufe dieses Knorpels. In *Fig. 1* sieht man das Bändchen,

welches ihn vorn mit dem der anderen Seite verbindet, welches aber häufig, wie in *Fig. 2*, fehlt.

Tafel VI zeigt das rechte Kniegelenk von der äusseren Seite: der *condylus externus* ist hinweggenommen, sodass man den inneren *condylus* von seiner äusseren Seite und das an ihm befestigte *ligamentum cruciatum posterius c p* sieht. *Fig. 1* zeigt diese Ansicht in einer mässig gestreckten Lage, wo das Band erschlafft ist, *Fig. 2* in gebogener Lage, wo es gespannt ist. Auch bei diesem Bande sind nicht alle Bündel zugleich in gleichem Grade schlaff oder straff. Bei dem höchsten Grade von Streckung spannt sich dieses Band, welches bei einer mässigen Streckung schlaff ist; es spannt sich aber nicht das ganze Band, sondern nur das Bündel *Fig. 1 c c'*, das unten breit und oben schmal ist, während das Bündel *p p'*, das oben breit und unten schmal ist, schlaff bleibt. So wie *Tafel V* von der *cartilago semilunaris interna*, so giebt diese von der *cartilago semilunaris externa s e* eine deutliche Vorstellung.

Tafel VII macht die Form und den Verlauf des Synovialsacks des Kniegelenks deutlich. Derselbe ist nämlich durch eine Oeffnung in der Kniescheibe mit erstarrender Flüssigkeit injicirt worden, wodurch alle Aus- und Einstülpungen deutlich vor- und zurücktreten. *Fig. 1* zeigt dieses Kniegelenk von vorn, *Fig. 2* von hinten, *Fig. 3* von aussen, *Fig. 4* von innen.

a ist ein Fortsatz des Synovialsacks, welcher sich weit zwischen dem Oberschenkelknochen und den *muscc. vastis* und dem *cruralis* herauf erstreckt und die Reibung ihrer Flechsen an jenem Knochen verhindert.

b ist ein anderer Fortsatz desselben, welcher zu gleichem Zwecke die Flechse des *musc. popliteus p* von der anliegenden *cartilago semilunaris externa* trennt. Dieser Fortsatz kommunizirt in diesem Falle nach unten mit dem Synovialsacke des Wadenbeinköpfchens.

c ist ein dritter Fortsatz, welcher über der Flechse des *popliteus* hinläuft, nach vorn mit der Wand des vorhergehenden, ohne in diesen überzugehen, verklebt und hier nur künstlich davon getrennt ist. Er trennt die Flechse des *musc. popliteus* von dem anliegenden *ligamentum laterale externum*, welches hier grösstentheils weggeschnitten ist.

d sind knospenartige Fortsätze des Synovialsackes, welche durch kleine Zwischenräume zwischen den Fasern der Kapselmembran nach aussen dringen und gleich den *acinis* der Drüsen zur Vergrösserung der secernirenden Oberfläche zu dienen scheinen.

Tafel VIII, IX, X, XI enthalten natürlich Abdrücke von Knochendurchschnitten. Die hierzu gebrauchten Knochen wurden in Gyps eingegossen, um sie gegen einander unverrückbar zu machen, darauf durchsägt und die Durchschnittsflächen stereotypirt. Die so erhaltenen metallischen Abgüsse sind gleich den Stöcken der Holzschnitte abgedruckt worden. Die Abbildungen vertreten daher vollkommen die Stelle der durchschnittenen Knochen selbst, deren mittelbare Abdrücke sie sind.[1])

Tafel VIII stellt die linke Schnittfläche einer ihrer Länge nach halbirten Wirbelsäule dar. Da die Wirbelsäule am unverletzten, mit allen seinen Bändern versehenen Skelete in Gyps eingegossen wurde, so konnten die Wirbel weder vor noch nach der Durchschneidung ihre natürliche Lage ändern. Diese Abbildung giebt daher eine deutliche und richtige Vorstellung von der Form und Krümmung der Wirbelsäule, von der relativen Lage und der Gestalt der Wirbel und der Wirbelknorpel, so wie von der Lage des Beckens zur Wirbelsäule und kann dazu dienen, dieselben einer

[1]) [Diese Tafeln sind in vorliegender Ausgabe nach den alten Originalbildern auf photographischem Wege reproducirt, da sich die noch vorhandenen Stereotypen zu sehr beschädigt erwiesen, um sie für einen nochmaligen Druck benützen zu können.]

genauen Untersuchung zu unterwerfen. Misst man z. B. die Höhe aller Wirbelkörper und Wirbelknorpel und vergleicht die Summen der Höhe aller Wirbelkörper und aller Wirbelknorpel, so ergiebt sich das Verhältniss, in welchem die Wirbelkörper und Wirbelknorpel zur Länge der Wirbelsäule beitragen, nahe wie 19 : 4. Die Lage der Wirbelsäule ist bei aufrechter Stellung des Körpers eine solche, dass eine von der Spitze der Wirbelkörper *a* zu deren Befestigung am Kreuzbein *c* gezogene Linie senkrecht steht. Die Linie *ac* bezeichnet daher die aufrechte Richtung des Körpers. Die Linie *bc*, welche senkrecht auf der Verbindungsfläche der beweglichen Wirbelsäule und des Beckens steht, bezeichnet die Richtung, in welcher sich erstere auf letzterem befestigt; *ce* den geraden Durchmesser des Beckeneinganges; *cd* die Horizontale. Der Winkel *dce* oder der Neigungswinkel des Beckens ist in diesem Falle ausserordentlich gering, er beträgt nur 59°, und weicht daher um 10° von der mittleren Neigung ab.

Die drei folgenden Tafeln enthalten durchgängig Durchschnitte von Gelenken, besonders der Gelenke der unteren Extremität. Um von der Form der durchschnittenen Gelenkflächen einen Schluss auf den Mechanismus des Gelenkes machen zu können, sind die Gelenke zunächst in der Richtung durchsägt worden, in welcher sie sich am weitesten an einander verschieben können, d. h. in einer Ebene, welche senkrecht gegen die Axe der genannten Drehung steht. Diese Durchschnitte geben daher eine Anschauung von der relativen Lage der Punkte beider Gelenkflächen, welche bei der Drehung eines Gelenkes successive mit einander in Berührung kommen, d. h. von der Krümmung, welche die Gelenkflächen in dieser Richtung haben, um jene Drehung zu gestatten. Dieselben Gelenke sind ferner durch die Axe jener Drehung durchsägt worden. Diese Durchschnitte zeigen daher, in wie weit die Bewegung der Gelenkflächen in einer anderen als der genannten Richtung gehindert wird.

Tafel IX Fig. 1 und *2* zeigen das Hüftgelenk bei aufrechter Stellung senkrecht von rechts nach links und von vorn nach hinten durch seinen Mittelpunkt durchschnitten. Die kreisförmige Gestalt der Schnittränder in zwei auf einander senkrechten Ebenen beweist die völlig kugelförmige Gestalt und koncentrische Lage beider Gelenkflächen. In *Fig. 1* sieht man bei *ab* die *incisura acetabuli*, die *fovea acetabuli* und das Grübchen des Schenkelkopfes durchschnitten, weil alle drei beim aufrechtstehenden Menschen in der senkrechten Ebene liegen, welche man durch die Mittelpunkte beider Schenkelköpfe legen kann. Die Kreissegmente der beiden kugelförmigen Gelenkflächen haben daher in dieser Richtung ihre kleinste Ausdehnung. *Fig. 2* dagegen zeigt die Kugelflächen in ihrer grössten Ausdehnung durchschnitten, nämlich von vorn nach hinten, in welcher Richtung das Gelenk auch seine grösste Ausdehnung hat. Das Kreissegment der Pfanne ist genau ein Halbkreis. Die Kugelgestalt und die koncentrische Lage der Gelenkflächen ist in dieser Richtung am augenfälligsten.

Tafel IX Fig. 3 und *4* und *Tafel X Fig. 1* sind Durchschnitte des Ellenbogengelenks und zwar ist der Durchschnitt *Tafel IX Fig. 3* durch die Axe der Beugung und Streckung, d. h. durch den *condylus externus* und *internus* dieses Gelenks, oder durch die Ansatzpunkte seiner Seitenbänder gemacht. Die Durchschnitte *Tafel IX Fig. 4* und *Tafel X Fig. 1* aber sind senkrecht auf diese Axe oder in der Richtung, in welcher die Beugung und Streckung geschieht, gemacht. Diese beiden letzteren Durchschnitte beweisen, dass die Gelenkflächen der Oberarmknochen und der Ellenbogenröhre Flächen eines Charniergelenks sind, d. h. drehrund und koncentrisch, in der Richtung, in welcher die Beugung und Streckung geschieht und dass sie daher diese Bewegung in dieser, aber in keiner anderen Richtung gestatten, wegen der ein- und ausspringenden, *Tafel IX Fig. 3*, sichtbaren Winkel, welche beide Gelenkflächen in der Richtung senkrecht auf jene Bewegungsebene bilden, wodurch jede

Drehung, welche nicht um die Axe der Cylinderflächen geschieht, verhindert wird. — Die entsprechenden Gelenkflächen des Oberarms und des *radius* allein dagegen zeigen in beiden Figuren kreisrunde Schnittränder, woraus folgt, dass beide zusammen eine kleine Nuss bilden.

Tafel X Fig. 2, 3, 4 sind Durchschnitte des Kniegelenks, *Fig. 2* durch die seitlichen Erhabenheiten des äusseren und inneren Condylus, an welchem sich die Seitenbänder befestigen, d. h. durch die Axe, um welche die Beugung und Streckung des Knies geschieht; *Fig. 3* und *4* senkrecht gegen diese Axe oder in der Richtung jener Bewegungen. Es geht aus diesen Durchschnitten hervor, dass der Oberschenkel im Knie keine koncentrische, drehrunde, sondern eine von hinten nach vorn spiralförmig gebogene Gelenkfläche hat, mit welcher er auf der fast ebenen Fläche der *tibia* steht. Das Kniegelenk unterscheidet sich dadurch wesentlich vom Ellenbogengelenke und einem Charniere. Diese eigenthümliche Form der Kniegelenkflächen begründet einen sehr merkwürdigen Gelenkapparat, welcher § 66 ff. näher erörtert ist, und ausser der Streckung und Beugung auch eine horizontale Drehung des Oberschenkels auf der *tibia* in der gebogenen Lage gestattet. *c* ist der Punkt, durch welchen die Axe des Gelenks geht. Die *radii vectores* cc^{I}, cc^{II}, cc^{III}, cc^{IV} nehmen von hinten nach vorn zu. Daher steigt die Axe bei zunehmender Streckung in die Höhe, die Seitenbänder, die sich in ihren Endpunkten befinden, werden gespannt, und dadurch wird die weitere Streckung gehemmt.

Tafel XI Fig. 1, 2, 3 sind Durchschnitte des Fusses, *Fig. 1* senkrecht gegen die Axe, um welche die Beugung und Streckung des Fusses geschieht, und also in der Richtung der Beugung und Streckung; *Fig. 2* durch beide Knöchel und die Axe; *Fig. 3* parallel dem vorigen, aber etwas hinter der Axe. Diese Durchschnitte beweisen, dass die Gelenkflächen des Unterschenkels und Fusses nur in einer Richtung drehrund sind und daher, wie das Ellenbogengelenk, ein Charnier bilden. *Fig. 2* zeigt, wie die Rolle des *talus* von den beiden Knöcheln wie von einer Gabel aufgenommen und dadurch die Bewegung desselben fast ganz auf eine Richtung (Beugung und Streckung) beschränkt wird. *Fig. 1* sieht man die drehrunde und koncentrische Form dieser Gelenkflächen in der Richtung von hinten nach vorn; zugleich sieht man in dieser Figur die gewölbte Form der Gelenkflächen, durch welche der *talus* auf dem übrigen Fusse ruht und durch welche sich diese Gelenke, welche eine nicht unbeträchtliche Bewegung gestatten, von den übrigen Gelenken der Fusswurzel- und Mittelfussknochen, welche nur eine geringe Bewegung gestatten, unterscheiden.

Tafel XII bis *Tafel XVII* enthalten die zur Erläuterung des Textes dienenden kleineren Figuren. Wir haben schon oben erwähnt, dass sie mit fortlaufenden Ziffern von 1 bis 45 bezeichnet worden sind, so, dass bei Berufung auf dieselben im Texte blos die Ziffer der Figur angegeben zu werden brauchte, ohne Beifügung der Ziffer der Tafel, auf der sie stehen. Zur Erläuterung von einigen dieser kleineren Figuren fügen wir folgende Bemerkungen bei.

Fig. 1 und *2* stellen die Grenzen dar, welche man bei Beugung und Streckung des Oberschenkels gegen das Becken nicht überschreiten kann. Der Winkel, welchen die den oberen und unteren Drehungspunkt des Oberschenkels verbindende gerade Linie mit der geraden Linie macht, welche den Mittelpunkt der Pfanne mit dem Grenzpunkt des Beckens und der Wirbelsäule verbindet, kann nicht kleiner als 107° 30′ und nicht grösser als 185° werden.

Fig. 3 stellt die Lagen dar, die ein und dasselbe Bein successive in zwei auf einander folgenden Schritten erhält. Der Deutlichkeit wegen sind sie in zwei Gruppen getrennt worden. Die 28 Figuren der ersten Gruppe stellen alle Lagen des Beins dar, während die Fussspitze auf dem Boden steht; die 10 Figuren der zweiten

Gruppe alle Lagen, während das Bein schwebt und, vom Rumpfe fortgetragen, schwingt. Die Lagen No. 1 bis 4 gehören dem Zeitabschnitte des ersten Schritts an, wo der Körper auf beiden Beinen steht; die Lagen No. 5 bis 14 dem Zeitabschnitte des ersten Schritts, wo das eine Bein auf dem Boden steht, während das andere schwingt; die Lagen No. 15 bis 18 dem Zeitabschnitte des zweiten Schritts, wo beide Beine auf dem Boden stehen; die Lagen No. 19 bis 28 dem Zeitabschnitte, wo das eine Bein schwingt, während das andere auf dem Boden steht.

Fig. 4 und *5* stellen die gleichzeitige grösste Beugung und Streckung aller Gelenke des Beins unseren Messungen gemäss dar.

Fig. 6 stellt die grösste Beugung des Beins, welche beim Gehen vorkommt, dar.

Fig. 10 stellt die gleichzeitigen Lagen beider Beine für den Zeitraum eines Schritts dar. Der Uebersicht wegen sind diese Lagen in vier Gruppen getrennt worden. Die erste Gruppe No. 4 bis 7 stellt die verschiedenen Lagen, welche beide Beine, während sie beide auf dem Boden stehen, gleichzeitig erhalten; die zweite Gruppe No. 8 bis 11 die verschiedenen Lagen, welche beide Beine in der Zeit erhalten, wo das aufgehobene Bein hinter dem stehenden weit zurück ist; die dritte Gruppe No. 12 bis 14 die verschiedenen Lagen, welche beide Beine in der Zeit annehmen, wo das schwingende Bein das stehende überholt; die vierte Gruppe No. 1 bis 3 die verschiedenen Lagen, welche beide Beine in der Zeit erhalten, wo das schwingende Bein dem stehenden weit voraus geeilt ist.

Fig. 11 stellt die vier Gruppen in *Fig. 10* vereinigt dar mit Hinweglassung der ersten Gruppe in *Fig.* 10, die vierte Gruppe in *Fig. 10* ist zur ersten in *Fig. 11* gemacht worden. Die erste Gruppe in *Fig. 10* hätte in *Fig. 11* die zweite werden sollen; durch ihre Hinweglassung ist aber die Uebersicht über die vorhergehende und nachfolgende Gruppe erleichtert, und wenig verloren worden, weil, während beide Beine auf dem Boden stehen, die Stellung beider Beine für jede Lage des Mittelpunktes des Körpers sich leicht ergänzen lässt. Die zweite und dritte Gruppe in *Fig. 10* sind in *Fig. 11* zur dritten und vierten gemacht worden; alle Gruppen sind aber in *Fig. 11* so nahe zusammengerückt worden, dass dadurch die wahre Fortrückung des ganzen Körpers richtig dargestellt wird.

Fig. 12, *13* und *13 a* dienen zur Erläuterung der § 138 gegebenen Vorschriften zum Zeichnen gehender Figuren. Das Zeichnen gehender Figuren kann in drei Theile zerfällt werden. Zuerst wird jedes Bein durch eine einzige gerade Linie dargestellt und die Lage dieser beiden geraden Linien den Regeln § 138 gemäss für die verschiedenen Augenblicke eines Schritts konstruirt. Sodann werden diese geraden Linien in gebrochene verwandelt, die den einzelnen Unterabtheilungen des Beins entsprechen und deren Eckpunkte den Drehungspunkten der Beinknochen entsprechen. Diese Verwandlung der geraden Linien in gebrochene lässt sich leicht ausführen, so lange die Lage des oberen und unteren Endpunktes des Beins gegeben ist (so lange das Bein auf dem Boden steht), weil die Länge der gebrochenen Linie der Länge des gestreckten Beins und die Grösse der einzelnen Stücke dem gemessenen Abstande der Drehungspunkte von einander gleich sein muss. Wenn aber das Bein aufgehoben wird, so kann der Fuss bald mehr, bald weniger sich vom Boden entfernen und das Bein in seinen Gelenken sich verschieden krümmen, für welche Krümmung noch keine sicheren Regeln vorliegen. Wir haben zur Ausführung der Konstruktion eine willkürliche Regel angenommen, die sich gewiss nur wenig von der Wahrheit entfernt. Jedoch hätte in diesen Abbildungen das Fussgelenk unmittelbar nach Aufhebung des Fusses vom Boden mehr gestreckt dargestellt werden sollen. Zur Vollendung der Zeichnung ist endlich drittens nur nöthig, die Abbildungen der einzelnen Knochen, bei welchen die Drehungspunkte ihrer Gelenke angegeben sind,

auf die vorgezeichneten gebrochenen Linien so zu übertragen, dass jene Drehungspunkte mit den Eckpunkten der gebrochenen Linie zusammenfallen. — Diese Figuren stellen das Gehen auf dem Ballen dar, weil sich dasselbe einfacher darstellen liess, als das Gehen auf der ganzen Fusssohle. Nach § 110 sind aber die Schritte beim Gehen auf dem Ballen beträchtlich kleiner, als beim Gehen auf der ganzen Fusssohle, so, dass *Fig. 12* schon die grössten Schritte darstellt, die auf erstere Weise gemacht werden können. Das eine Bein tritt nämlich in demselben Augenblicke senkrecht auf den Boden, wo das andere Bein den Boden verlässt, welches das Kennzeichen des schnellsten (mit den grössten Schritten verbundenen) Gehens ist. Die grosse Geschwindigkeit des Gehens ist in dieser Figur ausser der Grösse der Schritte durch die vorwärts geneigte Lage des ganzen Körpers und durch die grosse und schnell wechselnde Krümmung der Beine deutlich ausgedrückt. — Viel langsamer ist der Gang, der *Fig. 13a* dargestellt ist, was sich in dieser Figur durch die viel geradere Haltung des ganzen Körpers und durch die viel geringere und langsamer wechselnde Krümmung der Beine ausspricht.

Fig. 13 stellt endlich einen schnellen, aber ohne grosse Anstrengung länger fortzusetzenden Gang dar.

Fig. 14, 15 und *16* stellen dieselben drei Gangweisen wie *Fig. 12, 13* und *13a* dar und zwar denjenigen Augenblick, wo das vordere Bein auf den Boden auftritt, In *Fig. 14* ist dies der nämliche Augenblick, wo auch das hintere Bein den Boden verlässt, während in *Fig. 15* das hintere Bein von da an einige Augenblicke, in *Fig. 16* längere Zeit, noch auf dem Boden stehen bleibt. Ausserdem sind in diesen drei Figuren die Schwingungsbögen, die das auftretende Bein zurückgelegt hat, und die es noch zurücklegen müsste, um seine Schwingung ganz zu vollenden, durch punktirte Kreisbögen angedeutet. Man sieht in *Fig. 14,* dass das auftretende Bein gerade die Hälfte, in *Fig. 15,* dass es etwas über die Hälfte, in *Fig. 16,* dass es fast den ganzen Schwingungsbogen zurückgelegt hat.

Fig. 17, 18 und *19* dienen zur Veranschaulichung des Beckenringes und der von seinen Pfannen gebildeten Axe, um die es sich in vertikaler Ebene drehen kann.

Fig. 22 bis *26* enthalten die graphische Darstellung unserer Versuche über Schrittdauer und Schrittlänge; diese Figuren sind zur Ersparung des Raums und zur besseren Uebersicht vereint dargestellt, indem ein und dasselbe Netz von Linien zur Auftragung der Schrittlänge und Schrittdauern, sowohl für die verschiedenen Gangweisen als auch für das Laufen und Springen mit verschiedener Geschwindigkeit benutzt worden ist. *a* ist der Anfangspunkt der Koordinaten. Die Schrittlängen sind zehn Mal verkleinert als horizontale Abscissen, die Schrittdauern sind (die Sekunde als Decimeter dargestellt) als vertikale Ordinaten aufgetragen. Die Endpunkte der Ordinaten jeder Klasse sind durch eine krumme Linie verbunden und bei jeder krummen Linie ist die Tabelle angegeben worden, welche durch dieselbe graphisch dargestellt wird.

Fig. 39 und *40* dienen zur Erläuterung der § 154 gegebenen Vorschriften zum Zeichnen laufender und springender Figuren, wofür dieselben Bemerkungen gelten, welche für *Fig. 12, 13* und *13a* in Beziehung auf die Zeichnung gehender Figuren gemacht worden sind.

Göttingische gelehrte Anzeigen unter der Aufsicht der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften.[1])

10., 11. Stück.

Göttingen, den 19. Januar 1837. S. 89—107.

In der Dieterich'schen Buchhandlung: Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. Eine anatomisch-physiologische Untersuchung von den Brüdern Wilhelm Weber, Professor in Göttingen, und Eduard Weber, Prosektor in Leipzig. Nebst einem Hefte mit 17 Tafeln anatomischer Abbildungen, 1836, XXVI und 426 Seiten in 8.

So wichtig und interessant die Untersuchung der Bewegungen des menschlichen Körpers ist, so sind doch die darauf verwandten Bemühungen meist erfolglos geblieben. Dieses Urtheil ist besonders häufig und mit vielem Grunde von den Bemühungen der sogenannten Jatromathematiker des 18. Jahrhunderts ausgesprochen worden, welche die Hoffnung erregt hatten, dass durch sie dem menschlichen Geiste der Blick in das Innere der wunderbaren Werkstatt des menschlichen Körpers geöffnet werden würde, gleich wie durch die glänzenden Entdeckungen Galilei's, Keppler's und Newton's die Einsicht in das Weltensystem begründet worden war. Gegenwärtig ist man, belehrt durch die Erfahrung, von solchen früher gehegten allzu grossen Hoffnungen zurückgekommen, und man wagt es nicht mehr, den Versuch zu machen, bis zu einer mathematischen Theorie dieser Bewegungen vorzudringen, sondern beschränkt sich darauf, von jenen Bewegungen so viel zu sagen, als die unmittelbare Erfahrung zu rechtfertigen scheint. Wenn aber auch die meisten Bewegungen im menschlichen Körper der Art sind, dass keine Hoffnung da ist, sie je unter einfache allgemeine Gesetze zu bringen, so giebt es doch auch einige der wichtigsten, von denen man dieses Urtheil nicht unbedingt auszusprechen Recht hat. Wenn man den Zweck einer Maschine kennt und sich von der Regel-

[1]) [Autoreferat über das vorstehende Buch; vermuthlich von Wilhelm Weber allein geschrieben.]

mässigkeit ihres Ganges überzeugt hat, so hält man sie einer genaueren Untersuchung werth und hofft dadurch ihr Wesen vollständig zu ergründen, d. i. man hofft, dass man die Gesetze ihrer Wirksamkeit vollständig werde darlegen und auf einfache Grundsätze zurückführen können. Solcher durch die Einfachheit des Zwecks und regelmässige Wiederkehr ausgezeichneter Bewegungen, welche denen jener Maschine gleichen, sind nun mehrere auch im menschlichen Körper vorhanden, z. B. die regelmässigen und fortwährend sich wiederholenden Bewegungen des Athmens, und die des Pumpwerks, wodurch das Blut fortbewegt wird, des Herzens, und die zum Zwecke der Schallhervorbringung in wunderbar regelmässiger Aufeinanderfolge sich wiederholenden Bewegungen der Stimmwerkzeuge. Hierher gehört auch der Mechanismus der Gehwerkzeuge, wovon Jeder nicht nur den Zweck kennt, sondern auch weiss, wie regelmässig und wie lange ihre Bewegungen fortdauern und sich wiederholen können. In solchen Fällen muss es gelingen, auch im menschlichen Körper, wie in Maschinen, von den Bewegungen auf die Kräfte zurück zu schliessen und klar zu scheiden, in wie weit die Gesetzmässigkeit der Bewegungen von der Einrichtung der Maschine, und in wie weit sie von der die Maschine treibenden Lebenskraft abhänge, gleich wie bei einer Handmühle aus der vollständigen Kenntniss ihrer Bewegungen auf die Anstrengung des die Mühle drehenden Arbeiters zurück geschlossen und geschieden werden kann, was in der Bewegung aller Theile von der Einrichtung der Mühle selbst und was von der Absicht und Geschicklichkeit des Arbeiters abhänge. Jene wohl gewählten, wichtigen, interessanten und zu lösen nicht unmöglichen Aufgaben haben zu allen Zeiten die Aufmerksamkeit wissenschaftlicher Männer auf sich gezogen und werden es noch mehr thun, sobald durch ernstliche Forschung zu ihrer Lösung eine glückliche Bahn gebrochen worden ist.

Die bisherigen Bemühungen um die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge kann man dadurch charakterisiren, dass sie sich blos auf einige Beobachtungen, aber nicht auf genauere Versuche und Messungen gründen, ohne welche in diesem Gebiete der Forschung gar nicht fortzukommen ist. Dieses gilt nicht blos von den älteren, wie von Aristoteles, Galen, Fabricius, Gassendi und Borelli, sondern auch von den neueren, wie von Barthez und Gerdy. Sie gleichen einander alle durch eine ganz unbestimmte Allgemeinheit in ihren Ideen, durch die am Ende gar nichts gewonnen wird, weil sie, wenn sie sich auch wegen ihrer Unbestimmtheit mit den eben so unvollkommenen auf dem blossen Anblicke gehender und laufender Menschen beruhenden Beobachtungen vereinigen lassen, eben darum keiner schärferen Prüfung durch bessere Versuche fähig sind. Es geht hieraus

augenscheinlich hervor, dass man auf dem Wege, den man bisher eingeschlagen hat, zu klaren Begriffen von den Bewegungen des menschlichen Körpers beim Gehen und Laufen weder gelangt ist, noch auch gelangen konnte. Zur Bezeichnung eines anderen Weges, den die Verfasser des vorliegenden Werkes einzuschlagen versucht haben, möge die Stelle der Schrift selbst dienen, wo darüber Rechenschaft gegeben wird.

Es heisst Seite 291[1]):

„Die Menge und Mannigfaltigkeit der Bewegungen beim Gehen und Laufen, wenn man dabei alle Theile des Körpers zugleich betrachtet, ist zu gross, um beim blossen Anblicke die wesentlichen von den unwesentlichen, die nothwendigen von denjenigen zu unterscheiden, von denen das Gehen und Laufen nur zufällig begleitet wird, oder die selbst fehlerhaft und schädlich sind. Um diesen Zweck zu erreichen, ist man gezwungen, von blossen Beobachtungen zu Versuchen zu schreiten, d. h. statt sich auf den Anblick gehender und laufender Menschen im Allgemeinen zu beschränken, muss man die Hülfsmittel benutzen, die wir haben, um die zusammengesetzten Erscheinungen zu zerlegen und ihre einzelnen Theile und deren Zusammenhang zu erforschen, ferner muss man die Bewegungen besonders untersuchen, in die sie unter gewissen Verhältnissen, blos von äusseren Kräften getrieben, wie z. B. durch die Kraft der Schwere, gerathen können. Man muss endlich beim Gehen selbst Zeit und Raum und Massen und Kräfte messen, und muss dieselben Versuche vielmals wiederholen, um die Messungen, die man nicht alle auf einmal machen kann, successive zu gewinnen, und muss endlich die Versuche vielfach variiren, um dasjenige, was bei diesen Bewegungen konstant ist, vom Variablen zu sondern und für letzteres die Gesetze der Abhängigkeit zu suchen. Diesen Weg der Erfahrung, der in neuerer Zeit in so vielen anderen Theilen der Naturwissenschaft und insbesondere auch in anderen Theilen der Physiologie eingeschlagen worden ist, haben wir in dem experimentalen Theile dieser Schrift versucht und dadurch eine viel umfassendere, erfahrungsmässige Grundlage für die Betrachtung des Gehens und Laufens gewonnen, als unsere Vorgänger."

„Auf diesem Wege der reinen Erfahrung, mit Benutzung aller Mittel, die wir zu experimentalen Forschungen besitzen, würde es möglich sein, durch Genauigkeit und Beharrlichkeit zu einer wirklich vollständigen und klaren Kenntniss der Bewegungen des Gehens und Laufens zu gelangen, wenn der Genauigkeit der Versuche und Messungen nicht durch die Natur der Sache allzu enge Schranken gesetzt wären. Dazu

[1]) [In der Originalausgabe Seite 421.]

würde erforderlich sein, dass man die Versuche und Messungen, so oft man wollte, immer mit gleichem Erfolge wiederholen könnte. Weil nun aber beim Gehen und Laufen an eine vollkommen übereinstimmende Wiederholung der Versuche und Messungen unter den in und ausser dem Körper stets wechselnden Verhältnissen nicht zu denken ist, so ist es unmöglich, auf dem Wege des Experiments allein zu den Gesetzen dieser Bewegungen zu gelangen. Da es aber viel leichter ist, ein Gesetz, wenn es schon aufgestellt ist, durch Versuche und Messungen zu prüfen und zu bestätigen, als es, wenn es ganz unbekannt ist, durch Versuche und Messungen zu finden, so erkennt man daraus den Vortheil, den eine *theoretische* Betrachtung der Sache gewähren kann, wenn sie in der Art angestellt wird, dass sie zu einem solchen Gesetze führt, und wie unentbehrlich diese Hülfsleistung der Theorie gerade in unserem Falle sei, um in das Chaos der verschiedenen Beobachtungen Ordnung zu bringen. Auch diesen Weg der Theorie haben wir im theoretischen Theile dieser Schrift betreten, und die Resultate, zu denen wir darauf gelangten, haben uns als ordnende Principe bei der Zusammenstellung unserer Versuche und Messungen gedient.“

Der *erste* Theil dieser Schrift ist einer allgemeinen Darstellung der Lehre vom Gehen und Laufen gewidmet und hat den Zweck, auf alles aufmerksam zu machen, was für das Gehen und Laufen von Wichtigkeit ist, und dadurch ein richtiges Urtheil und eine klare Uebersicht in allen Einzelheiten specieller anatomischer und physiologischer Forschungen über die Gehwerkzeuge, wie die folgenden Theile sie enthalten, zu begründen. Es war angemessen, darin alles aufzunehmen, was sich in Worten, ohne Rechnung, ausdrücken liess, selbst manche Resultate theoretischer Forschungen, wenn sie für Experimentatoren brauchbar und nützlich waren. Der Zweck dieser Darstellung ist also ein untergeordneter, und dieser Theil selbst dient blos als Vorbereitung für die folgenden, in denen die eigentlichen Untersuchungen der Reihe nach vorgetragen werden. Bei der Ausarbeitung dieses Theils hat daher hauptsächlich das Bedürfniss den Leitfaden abgegeben, und es wäre unzweckmässig gewesen, demselben ein allzu systematisches Gepräge zu geben, wodurch die wahren Zwecke nur versteckt worden wären. In dieser allgemeinen Darstellung folgt nach einigen allgemeinen Betrachtungen über die Einrichtungen im menschlichen Körper, welche auf das Gehen und Laufen abzwecken, eine Beschreibung der Bewegungen, welche ein Bein während zweier auf einander folgender Schritte macht, sodann Betrachtungen der Bewegungen des rechten und des linken Beins, welche während eines Schritts gleichzeitig erfolgen, ferner Betrachtungen über die Kräfte, welche beim Gehen auf den Rumpf wirken; endlich, in der Darstellung über das Laufen, nach

einigen allgemeinen Betrachtungen über das Laufen, Erörterungen über den Eillauf und über den Sprunglauf im Einzelnen.

Der *zweite* Theil giebt eine Reihe anatomischer Untersuchungen über die Gehwerkzeuge. Wir wollen uns hier darauf beschränken, auf die verschiedenen Methoden und Hülfsmittel, welche auf diese Untersuchung verwandt worden sind, aufmerksam zu machen, sowie die wichtigsten Resultate, die aus ihnen hervorgegangen sind, auseinander zu setzen. Es war zuvörderst nöthig, das Knochengerüst des Rumpfes, die Stellung des Beckens und die Gestalt der Gelenke der Gehwerkzeuge genauer als bisher kennen zu lernen. Ein sehr einfaches Mittel hat sich hierbei vorzüglich zweckmässig bewiesen, nämlich das, den Körper, oder einzelne Theile desselben, während noch die knöchernen Theile ihre wahre naturgemässe Lage haben, mit Gyps zu umgiessen, und den erstarrten Gypsblock sodann nach einer vorgeschriebenen Richtung zu durchsägen. Man kann auf diese Weise die wahre Lage aller Theile im Innern des Körpers nicht allein sich selbst unmittelbar vor Augen legen, sondern man kann auch durch Abgiessen jener Knochendurchschnitte in Metall *Stereotypen* machen, und durch deren Abdruck den Leser selbst in den Besitz der Dokumente setzen, auf die man sich beruft. Es sind auf diese Weise in dem der Schrift beigegebenen Hefte anatomischer Abbildungen solche Originalabdrücke von der ganzen Wirbelsäule mit dem Becken und von den wichtigeren Gelenken der Gehwerkzeuge aufgenommen worden. Ein anderes Mittel ist ausserdem beim Becken in Anwendung gebracht worden, um von seiner Stellung eine richtige Kenntniss zu erhalten. Die Verfasser maassen nämlich zu gleicher Zeit den *senkrechten* und den *horizontalen* Abstand der Schwanzbeinspitze und des unteren Randes der Schamfuge. Aus beiden Angaben zusammen kann die Neigung der jene beiden Punkte verbindenden geraden Linie, d. i. die Neigung des Durchmessers des Beckenausgangs berechnet werden. Durch Wiederholung dieser Messungen bei vielen Menschen erhielten sie einen Mittelwerth für die Neigung des Beckens, der sie in Stand setzte, jedes Becken so aufzustellen, dass es nahe dieselbe Neigung wie bei einem aufrecht stehenden Menschen hat. In dieser Lage haben sie die Verhältnisse des Beckens und des Hüftgelenks zu einander untersucht und durch senkrechte Längen- und Querdurchschnitte dargestellt. Wir erwähnen auch noch die Mittel, durch welche der Umfang der Drehungen, deren die einzelnen Gelenke fähig sind, ermittelt worden ist. Die Kenntniss des Umfangs der Drehungen war nicht allein an sich wichtig für die Betrachtung des Gehens und Laufens, weil dabei so sehr verschiedene Lagen des Körpers vorkommen, die nur durch den Umfang jener Drehungen erklärt werden, sondern die Messung desselben hat auch

als Mittel gedient, die Wirkungen der einzelnen Bänder zu erkennen und zu unterscheiden, indem sie wiederholt angestellt worden sind, während nach und nach mehrere Bänder durchschnitten wurden, wodurch jener Umfang sich sehr veränderte. Weil es sehr schwer ist, den Drehpunkt der Gelenke genau zu finden, so kam es darauf an, eine Methode der Untersuchung anzuwenden, wobei man die Kenntniss des Drehpunktes nicht bedarf. Die meisten dieser Messungen liessen sich so anstellen, dass die Drehungsebene mit einer Horizontalebene zusammenfiel, z. B. der Oberfläche eines Tisches parallel war. Alsdann wurde eine mit Kreisbogen versehene Magnetnadel in ein Stück Holz eingelassen, das sich auf der Tafel verschieben liess und zwei vertikale Kanten darbot, die mit zwei voraus bezeichneten, hervorspringenden Knochenpunkten eines jeden der beiden durch das Gelenk verbundenen Körpertheile in Berührung gebracht wurden, und der Stand der Magnetnadel in beiden Fällen beobachtet. Wurden diese Messungen an jenen beiden Körpertheilen bei verschiedenen Lagen des Körpers wiederholt, so ergab sich daraus der Umfang der Drehung unabhängig von der Kenntniss des wahren Drehungspunktes. In manchen Fällen musste die Messung so eingerichtet werden, dass die Drehungsebene vertikal war; alsdann vertrat ein mit Kreisbogen versehener Senkel die Stelle der Magnetnadel. Durch Verbindung des Gebrauchs der Magnetnadel mit dem Gebrauche des Senkels konnten bei unveränderter Lage des einen Gliedes sowohl die horizontalen als vertikalen Drehungen des damit durch Gelenke verbundenen anderen Gliedes zugleich gemessen werden. — Ferner führen wir an, wie die Lage des Schwerpunktes des ganzen Körpers und des Rumpfes gefunden wurde. Es wurde nämlich ein horizontales Brett auf eine scharfe horizontale Kante aufgelegt, so, dass es im Gleichgewichte war; dann wurde der Körper darauf gelegt und so lange verschoben, bis das Brett, nahe im Gleichgewichte, von der horizontalen Lage langsam nach der einen Seite überschlug. Hierbei wurde auf dem Brette mit Hülfe eines rechten Winkels die Stelle bezeichnet, bis zu welcher der Kopf reichte. Darauf wurde der Körper umgekehrt auf das nämliche Brett gelegt (der Kopf auf die Seite, auf welcher vorher die Füsse lagen) und der nämliche Versuch wiederholt. Der Schwerpunkt des Körpers liegt in gleicher Entfernung von den beiden bezeichneten Stellen, und misst man den Abstand der letzteren und halbirt ihn, so erfährt man den Abstand des Schwerpunktes vom Scheitel. — Bei Untersuchung der Gelenke ist auch ein eigenthümliches Mittel angewendet worden, um von der Bildung der für diese Gelenke wichtigen Synovialhäute eine vollständige Kenntniss zu erlangen. Es wurden nämlich alle Theile dieser viel verzweigten, überall in sich selbst geschlossenen Haut zugleich durch Injektion mit

erstarrender Flüssigkeit sichtbar gemacht. — Wo es möglich war, sind ausserdem überall genaue Bestimmungen durch Messung und Wägung erlangt worden.

Als *Resultate* dieser anatomischen Untersuchungen heben wir hauptsächlich hervor, dass bei der natürlichen aufrechten Stellung des Körpers der Atlas, auf welchem der Kopf balancirt, das Promontorium, welchem der Schwerpunkt des ganzen Körpers sehr nahe liegt, der Mittelpunkt zwischen beiden Schenkelköpfen, auf denen der Rumpf balancirt, die Mitte der Drehungsaxe beider Kniegelenke und beider Fussgelenke alle vertikal über und unter einander liegen. — Ferner aus der Untersuchung über das Becken hat sich ergeben, dass die Lage desselben eine ganz andere ist, als sie gewöhnlich dargestellt wird. Nägele's Untersuchung über das weibliche Becken hat dadurch eine Erweiterung erhalten, indem, was er vom weiblichen Becken nachgewiesen hat, auch auf das männliche Anwendung findet. Wie bedeutend der Irrthum gewesen sei, in dem man sich befunden hat, ist an dem sonst klassischen Albin'schen Skelete vor Augen gelegt, indem in einer davon gegebenen Kopie die Verbesserung angebracht und die vorgenommene Drehung des Beckens durch Winkel genau bezeichnet ist. In Folge dieser veränderten Stellung des Beckens erhält auch das Rückgrat eine veränderte naturgemässere Lage. Die genauere Kenntniss der Lage des Beckens beim aufrecht stehenden Menschen giebt über manche Verhältnisse des Hüftgelenks Aufschluss. Es ergiebt sich nämlich daraus, dass das *Ligamentum teres* vom Schenkelkopfe aus nicht, wie man zeither annahm, *vorwärts,* sondern *seitwärts* und in *vertikaler Ebene* zum Pfannenrande herabsteigt, was für die Kenntniss seiner Verrichtungen von Wichtigkeit ist. Die *Incisura acetabuli*, an dessen Rande jenes Band fest ist, liegt eben darum an der Pfanne zu unterst, und kann darum als Merkmal benutzt werden, woran man erkennt, ob ein Becken richtig oder falsch aufgestellt ist. Es ergiebt sich ferner, dass das Hüftgelenk, eben so wie das Kniegelenk, bei aufrechter Stellung sich der gestrecktesten Lage sehr nahe befindet. Ausserdem hat sich noch ergeben, dass das Hüftgelenk (wahrscheinlich alle freien Gelenke, die wie Kugelgelenke nach allen Richtungen drehbar sind) einen luftdichten Verschluss hat, wodurch bewirkt wird, dass, wenn auch alle die Gelenke umgebenden Muskeln und Bänder völlig erschlafft sind, die beiden im Gelenke an einander grenzenden Körpertheile doch schon durch den Luftdruck zusammengehalten werden, und insbesondere, dass, wenn das Bein vom Rumpfe frei herabhängt, die Bänder und Muskeln, welche vom Rumpfe zum Oberschenkel führen, ganz erschlafft sein können und die Luft das Bein doch schwebend erhalte, indem die Grösse der Gelenkflächen so abgemessen ist, dass der Druck der Luft auf diese Fläche dem Ge-

wichte des Beins nahe gleich ist, und folglich das Bein für sich allein frei schwebend erhält. — Aus der Untersuchung des Kniegelenks hat sich ergeben, dass (wahrscheinlich bei allen Charniergelenken, im Gegensatze zu den Kugelgelenken) feste Bänder an den Endpunkten der Drehungsaxen angewachsen sind, und indem sie die drehbaren Theile verbinden, sich bei der Drehung radienförmig bewegen. Bei den wahren Charniergelenken, wie bei dem Ellenbogengelenke, bleiben dabei die mit den Knochen verwachsenen Endpunkte dieser Bänder in immer gleicher Entfernung von einander und folglich auch immer gleich gespannt, wodurch sie geeignet sind, in allen Lagen die beiden im Gelenke an einander grenzenden Körper fest zusammen zu halten. Bei der wunderbaren Einrichtung des Kniegelenks dagegen (welches darum nicht den eigentlichen Charniergelenken beigezählt werden darf) findet das nicht Statt, sondern die An- und Abspannung dieser Bänder erfüllt daselbst den wichtigen Zweck, das Bein bei gestreckter Lage in eine steife Stütze, in gebogener Lage, gleich dem Arme, in ein allseitig geschmeidiges Glied zu verwandeln. Von allen Theilen der Physiologie ist die Lehre von dem Nutzen der Bänder am meisten vernachlässigt, und diese Lehre wird nur dann klar und übersichtlich dargestellt werden können, wenn man die Bestimmung der Bänder in Beziehung auf den Mechanismus der Gelenke genauer untersucht. Wir übergehen die Resultate, zu welchen in dieser Beziehung die Erforschung der Gelenke der Gehwerkzeuge führt. — Schliesslich weisen wir noch auf die in diesem Theile vorgetragene eigenthümliche Einrichtung und Bestimmung der Sesambeinchen und auf das merkwürdige Verhalten der Streck- und Beugemuskeln zu einander bei den sämmtlichen Gehwerkzeugen hin.

Der *dritte* Theil, oder die physiologische Untersuchung des Gehens und Laufens zerfällt in zwei Abschnitte, in einen experimentalen und in einen theoretischen. Aus dem ersteren Abschnitte oder aus den über das Gehen und Laufen angestellten Versuchen und Messungen heben wir als *erste Thatsache* folgende hervor. Es ist ein einfacher physikalischer Versuch, von einem Leichname ein Bein abzuschneiden, und durch die Mitte seines Schenkelkopfes eine Axe zu schlagen, um welche man das Bein, wie ein Pendel, schwingen lässt. Unter diesen Verhältnissen sind die Bewegungen des Beins, von allen Lebensäusserungen unabhängig, blos dem Gesetze der Schwere unterworfen. Misst man unter diesen Verhältnissen die Schwingungsdauer des Beins und vergleicht diese rein physikalische Angabe mit der gemessenen Dauer der Schritte beim schnellsten Gehen bei einem lebenden Menschen von gleicher Grösse, wie jener Todte war, so ergiebt sich das merkwürdige Resultat, dass diese Schrittdauer der halben Dauer jener Schwingung gleich ist. Diese Thatsache verhält sich gerade so, als wenn das Bein,

auch beim schnellsten Gehen, wie ein Pendel, blos von seiner Schwere getrieben, schwinge und bei jedem Schritte, nachdem es eine *halbe* Schwingung gemacht hat, in dem nämlichen Augenblicke aufgesetzt werde, wo das andere (hintere) Bein vom Boden gehoben wird. Vorausgesetzt aber, dass das Bein selbst beim schnellsten Gehen sich, während es den Körper nicht unterstützt, sondern an ihm hängt, wie ein Pendel verhalte und nur durch die Schwerkraft, ohne Anstrengung der Muskeln, bewegt werde, so wird es um so mehr wahrscheinlich, dass es auch bei langsamerem Gehen eben so sein werde, nur mit dem Unterschiede, dass das Bein dann bei jedem Schritte auch wohl mehr als eine halbe Pendelschwingung machen und schon früher auf den Fussboden niedergesetzt werden könne, als das hintere Bein von dem Fussboden erhoben wird. Wir übergehen die anderen Versuche und Messungen, welche zur Prüfung und Bestätigung dieser Vermuthung angestellt worden sind. — Eine *zweite Thatsache* ist, dass beim schnellsten Gehen die Schrittlänge halb so gross wie die grösste Spannweite beider Beine ist. Diese Thatsache verhält sich ganz so, als wenn bei jedem Schritte des schnellsten Gehens ein Augenblick komme, wo das hintere Bein möglichst nach hinten gestreckt, gleichzeitig aber das vordere Bein nicht eben so möglichst weit nach vorn ausgestreckt sei, sondern vielmehr in diesem Augenblicke gerade senkrecht stehe, denn alsdann ergiebt sich von selbst, warum der Zwischenraum zwischen beiden Füssen, d. i. die Schrittlänge, halb so gross ist, wie wenn die beiden Beine gleichzeitig, das eine möglichst nach vorn, das andere nach hinten ausgestreckt werden, denn im letzteren Falle schliessen die beiden Beine mit dem Boden ein gleichschenkeliges Dreieck ein, dessen Grundlinie durch ein vom gegenüber liegenden Winkel gefälltes Perpendikel halbirt wird. — Eine *dritte Thatsache* ist, dass die Schenkelköpfe, von denen der Rumpf getragen wird, sich auch beim schnellsten Gehen in einer fast ganz horizontalen Bahn fortbewegen und den Rumpf immer in fast gleicher Höhe über den Fussboden hintragen. Diese Thatsache verhält sich ganz so, als wenn die Kraft, mit welcher sich das stemmende Bein zu verlängern strebt, so gross sei, dass wenn sie nach dem Parallelogramme der Kräfte in eine horizontale und vertikale Seitenkraft zerlegt wird, die letztere allein das Gewicht des Körpers aufhebe. — Diese drei Thatsachen, und was daraus gefolgert worden ist, enthalten, was man zur Begründung einer Theorie nöthig braucht, nämlich ein Princip, *aus der Lage* der Theile *die Kräfte*, von denen sie bewegt werden, zu berechnen, und die *Kenntniss* des Zustandes der Theile in einem bestimmten Augenblicke, der als Anfangspunkt betrachtet werden darf. — Ausser den zur Bestätigung dieser Sätze dienenden Versuchen und Messungen erwähnen wir beispielsweise einige andere Resultate, die merk-

würdig genug sind, um als Prüfsteine jeder wahren Theorie zu dienen, weil dieselbe einen Erklärungsgrund für sie darbieten muss. Zum Beispiel die halbe Dauer einer Schwingung des frei pendulirenden Beins ist die *kürzeste* Dauer der Schritte beim Gehen. Ferner dieselbe Zeitdauer ist die *grösste* Schrittdauer beim Eillaufe, d. h. demjenigen Laufen, wo die Beine nie nach vorn ausgestreckt, sondern senkrecht aufgesetzt werden. Viel grösser ist dagegen die Schrittdauer beim Sprunglaufe, d. h. demjenigen Laufen, wo die Beine erst möglichst weit nach vorn ausgestreckt werden, ehe man den Boden mit ihnen berührt. — Ferner, je *grösser* die Schrittdauer, desto *kleiner* die Schrittlänge beim Gehen. — Ferner, die Schrittdauer beim Eillaufe ist *nahe konstant*, so gross oder klein auch die Schritte seien. — Ferner, die vertikalen Hebungen und Senkungen des Rumpfes beim Eillaufe sind fast nie so gross wie beim Gehen u. s. w. Was die Instrumente und Methoden betrifft, mit denen und nach welchen diese Messungen ausgeführt worden sind, verweisen wir auf die Schrift selbst.

(Der Beschluss im nächsten Stücke.)

12. Stück.

Göttingen, den 21. Januar 1837.

Beschluss der Anzeige: Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge:

Der *zweite* Abschnitt der physiologischen Untersuchung des Gehens und Laufens enthält die Begründung einer Theorie des Gehens und Laufens, gemäss den eben angeführten Erfahrungen. Wir enthalten uns hier einer genaueren Zergliederung dieser Theorie, und beschränken uns, diejenigen Formeln anzuführen, welche zwar nur näherungsweise gelten, aber die einfachste Uebersicht über alle beim Gehen und Laufen vorkommenden Verhältnisse gewähren.

1. Formeln für das Gehen:

$$h^2 + p^2 = l^2,$$

$$\tau - t = -\tau \cos \frac{t}{T} \pi,$$

$$h = \frac{a\tau^2}{\left(1 + \frac{\tau}{T}\pi\right)^2}.$$

2. Formeln für den Eillauf:

$$(h + s)^2 + p^2 \frac{t^2}{\tau^2} = l^2,$$

$$2\tau = \tfrac{1}{2} T + t,$$

$$s + \tfrac{1}{2} g \frac{t}{\tau} (\tau - t)^2,$$

$$h = at^2 \left(1 - \frac{2s}{3h}\right) \cdot \left(\frac{T}{T + \pi t}\right)^2.$$

3. Formeln für den Sprunglauf:

$$(h + s)^2 + p^2 \frac{t^2}{\tau^2} = l^2,$$

$$2\tau = T + 2t,$$

$$s = \tfrac{1}{2} g \cdot \frac{t}{\tau} (\tau - t)^2,$$

$$h = at^2 \left(1 - \frac{2s}{3h}\right).$$

In diesen Formeln bezeichnet l die Länge des gestreckten Beins, T seine Schwingungsdauer, p die Schrittlänge, τ die Schrittdauer, t den Theil der Schrittdauer, wo ein Bein aufsteht und stemmt, h die Höhe des Schenkelkopfes über dem Fussboden im Anfange des Schritts, π das Verhältniss der halben Peripherie zum Halbmesser, $\frac{1}{2} g$ den Fallraum für die Zeiteinheit, a eine Konstante, s den Unterschied der Höhe des Schenkelkopfes über dem Fussboden in zwei verschiedenen Augenblicken eines Schritts. Aus den Formeln für das Gehen ergiebt sich zur Vergleichung mit der Erfahrung folgende Tabelle der zusammengehörigen Werthe der *Schrittlänge* und *Schrittdauer* für $T = 0{,}7''$, $l = 0{,}95$ m, $a = 34{,}65$, die wir mit den S. 188 [1]) mitgetheilten Beobachtungen zusammenstellen:

Berechnet.		Beobachtet.	
$\tau = 0{,}350''$	$p = 0{,}700$ m	$\tau = 0{,}377^0$	$p = 0{,}790$ m
$\tau = 0{,}414''$	$p = 0{,}611$ m	$\tau = 0{,}399^0$	$p = 0{,}736$ m
$\tau = 0{,}422''$	$p = 0{,}600$ m	$\tau = 0{,}429^0$	$p = 0{,}724$ m
$\tau = 0{,}432''$	$p = 0{,}585$ m	$\tau = 0{,}461^0$	$p = 0{,}712$ m
$\tau = 0{,}446''$	$p = 0{,}564$ m	$\tau = 0{,}502^0$	$p = 0{,}668$ m
$\tau = 0{,}465''$	$p = 0{,}533$ m	$\tau = 0{,}538^0$	$p = 0{,}648$ m
$\tau = 0{,}494''$	$p = 0{,}484$ m	$\tau = 0{,}576^0$	$p = 0{,}625$ m
$\tau = 0{,}542''$	$p = 0{,}395$ m	$\tau = 0{,}604^0$	$p = 0{,}564$ m

Es ist bei dieser Vergleichung zu berücksichtigen, dass die Länge des Fusses zur Vergrösserung der Schritte um fast 0,140 Meter beitrug, worauf in der Rechnung keine Rücksicht genommen worden ist.

[1]) [In der Originalausgabe Seite 274.]

Ueber die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge, nebst der Beschreibung eines Versuchs über das Herausfallen des Schenkelkopfes aus der Pfanne im luftverdünnten Raume.[1])

Von

Wilhelm Weber in Göttingen und **Eduard Weber** in Leipzig.

[Annalen der Physik und Chemie, herausgegeben zu Berlin von J. C. Poggendorff, Band XL. Der ganzen Folge 116. Band. Leipzig, 1837. Ambros. Barth. S. 1—13.]

So wie man bei einem Mühlwerke, zum Beispiel bei einer Handmühle oder Wassermühle, aus der beobachteten und gemessenen Bewegung auf die Kräfte zurückschliessen kann, die der Arbeiter, oder das die Mühle treibende Wasser ausübt, eben so muss es auch gelingen, durch Beobachtung und Messung gewisser Bewegungen des menschlichen Körpers auf die Kräfte zurückzuschliessen, die zu ihrer Hervorbringung nothwendig waren, gleichgültig, woher diese Kräfte rühren, sei es von einem lebendigen Wesen, oder bedingt durch Naturgesetze. Es ist aber nicht möglich, alle Bewegungen des menschlichen Körpers auf diese Weise zu erforschen und dadurch zu einer vollständigen Mechanik aller Theile zu gelangen, sondern man muss nur diejenigen Bewegungen auswählen, deren Untersuchung übersehbar und nützlich werden kann, Bewegungen, die in einem einfachen Zusammenhange unter einander stehen und regelmässig fortdauern oder wiederkehren.

[1]) Folgender Aufsatz ist der Auszug aus einem Vortrage, den Professor Wilhelm Weber bei Gelegenheit der Versammlung der deutschen Naturforscher in Jena hielt, indem er die eben erschienene Schrift vorlegte: „Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge, eine anatomisch-physiologische Untersuchung von den Brüdern Wilhelm Weber, Professor in Göttingen, und Eduard Weber, Prosektor in Leipzig; nebst einem Hefte mit 17 Tafeln anatomischer Abbildungen. Göttingen, bei Dietrich, 1836." — Der Inhalt dieser Schrift veranlasste Herrn Alexander von Humboldt die Verfasser aufzufordern, über die darin nachgewiesene Aequilibrirung des am Rumpfe hängenden Beins durch den Druck der atmosphärischen Luft einen neuen Versuch zu machen, welcher zu einer Erklärung der grossen Ermüdung der Beine beim Gehen auf sehr hohen Bergen führte. Dieser Versuch wurde in Berlin wirklich angestellt, und soll zum Schlusse dieses Aufsatzes beschrieben werden.

Solcher Bewegungen giebt es aber im menschlichen Körper nicht blos eine, sondern mehrere, z. B. die regelmässigen und fortwährend sich wiederholenden Bewegungen des Athmens und die des Pumpwerks, wodurch das Blut fortbewegt wird, — des Herzens. Hierher gehört auch der Mechanismus der Gehwerkzeuge, wovon Jeder nicht nur den Zweck kennt, sondern auch weiss, wie regelmässig und wie lange die Bewegungen desselben fortdauern und sich wiederholen können. Die Mechanik der Arme ist in dieser Beziehung der Mechanik der Beine nicht zu vergleichen; denn man sieht zwar bei Handwerkern und Handlangern Stunden lang den Mechanismus der Arme in regelmässiger Wirksamkeit; es giebt aber keine solche Wirksamkeit der Arme, die bei allen Menschen auf gleiche Weise Statt fände, und als einziger wahrer Zweck des ganzen Mechanismus betrachtet werden könnte.

Wir wollen in diesem Aufsatze zuerst die einfachsten Thatsachen vor die Augen führen, die uns besonders Veranlassung gegeben, die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge einer mehr physikalischen Betrachtung zu unterwerfen, als bisher geschehen war. Sodann wollen wir in wenigen Sätzen auszusprechen versuchen, wie es uns gelungen ist, geleitet durch diese Thatsachen, eine physikalische Ansicht von dem ganzen Mechanismus der Gehwerkzeuge zu begründen.

1. *Thatsachen zur Begründung einer Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge.*

Erste Thatsache. Beim schnellsten Gehen ist die Schrittdauer der halben Dauer einer Schwingung des nur von seiner Schwere getriebenen, als Pendel schwingenden Beins gleich.

Es ist ein einfacher physikalischer Versuch, den wir gemacht haben, von einem Leichname ein Bein abzuschneiden und durch die Mitte seines Schenkelkopfs eine Axe zu schlagen, um welche man das Bein wie ein Pendel schwingen lässt. Die Bewegungen des Beins sind unter diesen Verhältnissen von den eigenthümlichen Kräften, die sonst einem organischen Wesen zukommen, ganz unabhängig, und folgen, wie bei einem Pendel, nur den Gesetzen der Schwere. Misst man unter diesen Verhältnissen die Schwingungsdauer des Beins, und vergleicht diese rein physikalische Angabe mit der gemessenen Dauer der Schritte beim schnellsten Gehen (bei einem lebenden Menschen von gleicher Grösse wie jener Leichnam), so ergiebt sich die oben angeführte merkwürdige Thatsache, dass die Schrittdauer der halben Dauer einer Schwingung gleich ist.[1]) Wir haben diese Thatsache benutzt, um das Tempo der

[1]) Eine Schwingung nennen wir die Bewegung, wodurch ein Pendel seinen Schwingungsbogen einmal durchläuft.

Schritte beim schnellsten Gehen bei verschiedenen Menschen vorauszusagen, wozu es hinreichte, die Schwingungsdauer ihrer Beine, während sie schlaff am Rumpfe hingen, nachdem sie angestossen worden waren, zu messen, und haben die Voraussage immer bestätigt gefunden. Diese Thatsache verhält sich gerade so, als ob die Annahme richtig sei, dass bei diesem schnellsten Gehen das Bein, nachdem es beim Gehen hinten vom Fussboden aufgehoben worden ist, so lange es, ohne den Boden zu berühren, vom übrigen Körper fortgetragen wird, wie ein Pendel, blos von seiner Schwere getrieben, schwinge, und bei jedem Schritte, nachdem es eine halbe Schwingung gemacht hat, in dem nämlichen Augenblicke auf den Boden gesetzt werde, wo das andere (hintere) Bein, vom Boden gehoben, zu schwingen beginnt. Nimmt man demnach an, dass das Bein, selbst beim schnellsten Gehen, sich wie ein Pendel verhalte, und, so lange es am übrigen Körper hängt und den Fussboden nicht berührt, nur durch die Schwerkraft, ohne Anstrengung der Muskeln, bewegt werde, so wird es um so mehr wahrscheinlich sein, dass das Bein auch bei langsamem Gehen sich ebenso verhalte, nur mit dem Unterschiede, dass das Bein dann bei jedem Schritte auch wohl mehr als eine halbe Pendelschwingung mache und auf den Fussboden früher niedergesetzt werde, als das andere (hintere) Bein von dem Fussboden erhoben wird.

Zweite Thatsache. Beim schnellsten Gehen ist die Schrittlänge halb so gross, wie die grösste Spannweite beider Beine (d. i. halb so gross, wie der Zwischenraum zwischen beiden Füssen, wenn das eine Bein möglichst weit nach vorne, das andere ebenso nach hinten ausgestreckt wird). Diese Thatsache verhält sich ganz so, wie wenn bei jedem Schritte des schnellsten Gehens ein Augenblick käme, wo das hintere Bein möglichst nach hinten, gleichzeitig aber das vordere Bein nicht eben so möglichst weit nach vorn ausgestreckt wäre, sondern vielmehr in diesem Augenblicke gerade senkrecht stände; denn alsdann ergiebt sich von selbst, warum der Zwischenraum zwischen beiden Füssen, d. i. die Schrittlänge, beim schnellsten Gehen gerade halb so gross sei, wie wenn die beiden Beine gleichzeitig möglichst nach vorne und nach hinten gestreckt werden; denn im letzten Falle schliessen die beiden Beine mit dem Boden ein gleichschenkeliges Dreieck ein, dessen Grundlinie durch ein von dem gegenüberliegenden Winkel gefälltes Perpendikel halbirt wird.

Dritte Thatsache. Die Schenkelköpfe, von denen der obere Theil des Körpers getragen wird, bewegen sich auch beim schnellsten Gehen fast genau in horizontaler Bahn fort und tragen den Rumpf fast immer in gleicher Höhe über den Fussboden hin. Diese Thatsache verhält sich ganz so, als wenn die Kraft, mit welcher sich das stemmende Bein

zu verlängern strebt, so gross wäre, dass, wenn sie nach dem Parallelogramme der Kräfte in horizontale und vertikale Seitenkräfte zerlegt wird, die letztere allein das Gewicht des Körpers gerade aufhübe oder trüge.

Diese drei Thatsachen, und was sich daraus unmittelbar folgern lässt, enthalten gerade, was man zur Begründung einer Theorie nöthig braucht, nämlich die Principien, aus der Lage der Theile die Kräfte, von denen sie bewegt werden, zu berechnen, und die Kenntniss der Lage der Theile in einem bestimmten Augenblicke, der als Anfangspunkt betrachtet wird. Die erste und dritte Thatsache geben nämlich die Principien an die Hand, aus der Lage des schwebenden und stemmenden Beins die jenes Bein und den Rumpf horizontal beschleunigende Kraft zu berechnen; die zweite Thatsache dagegen lehrt die gleichzeitige Lage der beiden Beine für einen gegebenen Augenblick jedes Schritts kennen.

2. *Kurzgefasster Ausspruch der vier Hauptsätze der auf obige Thatsachen begründeten Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge.*

Erster Satz. Die Bewegung der Schenkelköpfe — der dritten Thatsache gemäss — als horizontal vorausgesetzt, und die Richtung der Streckkraft, mit welcher das stemmende Bein sich zu verlängern strebt, durch die Lage des Beins dargestellt, kann man das Gesetz des Parallelogramms der Kräfte in Anwendung bringen und aus der Lage jenes Beins (weil die vertikale Seitenkraft das Gewicht des Körpers gerade aufheben muss) die horizontale Seitenkraft, d. i. die den Körper horizontal beschleunigende Kraft, oder den Gewinn an lebendiger Kraft (in physikalischem Sinne), den der Körper in jedem Augenblicke durch das stemmende Bein erhält, berechnen.

Zweiter Satz. Die anfängliche Lage der Beine (wie sie in dem Augenblicke Statt findet, wo das hintere Bein vom Boden aufgehoben wird, und folglich das vordere Bein — der zweiten Thatsache gemäss — senkrecht steht und den Körper allein trägt) vorausgesetzt, ist die Grösse des Schritts und die Elongationsweite des am Rumpfe hängenden, seine Schwingung beginnenden Beins gegeben, und es lässt sich das Pendelgesetz unmittelbar auf das schwingende Bein in Anwendung bringen, und die Zeit folgern, wie lange das Bein schwingen müsse, bis es aufgesetzt werde, oder die Zeit, in welcher der vom Beine, als einem vom Rumpfe fortgetragenen, schwingenden Pendel, zurückgelegte Weg einem Doppelschritte gleich wird.

Dritter Satz. Die anfängliche Lage (in welcher, der zweiten Thatsache gemäss, das vordere Bein senkrecht stehen soll) als *wiederkehrend*

mit jedem Schritte vorausgesetzt, ergiebt sich die Bedingung, unter welcher allein das Gehen möglich ist, nämlich: jene Zeit, wo das Bein, blos von seiner Schwere getrieben, schwingt, bis zum Auftreten auf den Boden, darf nicht kleiner als eine halbe Schwingungsdauer des Beins sein (denn sonst würde das schwingende Bein gar nicht wieder bis zur senkrechten Lage gelangen und die anfängliche Lage beim folgenden Schritte nicht wiederkehren).

Vierter Satz. Da man den Aufwand oder Verlust an lebendiger Kraft (in physikalischem Sinn), der beim Gehen Statt findet, aus der Betrachtung des im Anfange des Schritts ruhenden, gegen Ende (vor dem Wiederauftreten) bewegten Beins kennen lernt (weil die lebendige Kraft, die dieses Bein zuletzt besitzt, durch dessen Auftreten auf den Boden verloren geht), so kann man die Bedingung des gleichmässigen Fortgangs angeben, welche darin besteht, dass dieser Verlust an lebendiger Kraft dem Gewinne an lebendiger Kraft durch das stemmende Bein, wie er im ersten Satze bestimmt worden ist, gleich sein müsse.

Hieraus ergeben sich die Gesetze des Gehens, welche sich näherungsweise in drei sehr einfache Gleichungen zwischen vier beim Gehen variablen Grössen zusammenfassen lassen. Diese vier beim Gehen variablen Grössen sind nämlich: 1. die Schrittlänge $= p$; 2. die Schrittdauer $= \tau$; 3. derjenige Theil der Schrittdauer, wo man auf einem Beine steht $= t$; 4. die Höhe, in welcher der Rumpf über dem Fussboden hingetragen wird $= h$. Wenn eine dieser vier Grössen, z. B. die Schrittdauer, bekannt ist, so können die anderen, z. B. die Schrittlänge, daraus berechnet werden. Diese drei Gleichungen sind folgende:

$$h^2 + p^2 = l^2, \tag{1.}$$

$$\tau - t = - \tau \cos \frac{t}{T} \pi, \tag{2.}$$

$$h \left(1 + \frac{\tau}{T} \pi\right)^2 = a \tau^2, \tag{3.}$$

wo l die Länge des gestreckten Beins,
T die Schwingungsdauer des Beins, als Pendel,
a eine Konstante, die von dem Verhältniss des Gewichts der Beine zu dem des Rumpfes abhängt,

bezeichnen. Die Tabelle, welche hiernach für die verschiedenen Gangarten berechnet wurde, stimmt mit den bei verschieden schnellem Gehen angestellten Messungen der Schrittdauer und Schrittlänge sehr gut überein. Diese Tabelle ($T = 0{,}7''$; $l = 0{,}95$ m; $a = 34{,}65$ angenommen) ist folgende:

τ	t	h	p
0,350″	0,350″	0,642 m	0,700 m
0,414″	0,372″	0,727 m	0,611 m
0,422″	0,375″	0,736 m	0,600 m
0,432″	0,378″	0,749 m	0,585 m
0,446″	0,382″	0,765 m	0,564 m
0,465″	0,387″	0,786 m	0,533 m
0,494″	0,395″	0,817 m	0,484 m
0,542″	0,406″	0,864 m	0,395 m

In den zu dem oben genannten Werke gehörigen Abbildungen sind die verschiedenen Gangarten und die verschiedenen Stellungen des Rumpfes und der beiden Beine in den verschiedenen Augenblicken jedes Schritts nach Angabe der Theorie, ohne Zuziehung der Erfahrung konstruirt worden, und auch die Richtigkeit dieser Abbildungen hat sich bei allen Proben, denen sie unterworfen worden sind, bewährt.

Beschreibung eines Versuchs über das Herausfallen des Schenkelkopfes aus der Beckenpfanne im luftverdünnten Raume.

Alexander von Humboldt machte in einem Vortrage, mit welchem er die in Jena versammelten Naturforscher in der öffentlichen Sitzung am 26. September erfreute, und in welchem er seine Besteigung des Chimborazo beschrieb, und mit der späteren des Herrn Boussingault verglich, unter anderem auf die seltsame Ermüdung aufmerksam, die in sehr hohen Regionen beim Gehen gefühlt wird, und bemerkte, dass sich dieses seltsame Phänomen, wie es scheine, aus der von uns in der Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge nachgewiesenen Aequilibrirung der Beine durch den atmosphärischen Luftdruck erklären lasse.

Wir haben nämlich in der angeführten Schrift durch direkte Versuche bewiesen, dass das Gewicht des Beins, wenn es am Rumpfe hängt, welches ungefähr 20 Pfund beträgt, weder an den Muskeln oder Bändern hänge, noch auch auf dem Pfannenrande ruhe, sondern von dem Drucke der Luft, mit welchem dieselbe beide Gelenkflächen zusammenpresst, getragen werde. Durch diese Aequilibrirung seines Gewichts erhält das Bein eine so vollkommene Drehbarkeit in seiner Pfanne, als zur Ausführung so geregelter Bewegungen, als das Gehen und Laufen sind, erforderlich ist. Wenn man sich nun denkt, dass der Luftdruck, unter welchem wir uns befinden, vermindert werde, so muss ein Punkt eintreten, wo derselbe der Schwere des Beins nicht mehr das Gleichgewicht halten kann. Es muss alsdann eine andere Kraft, z. B. die der

Muskeln, seine Stelle vertreten und das Bein tragen, weil sich sonst beide Gelenkflächen von einander entfernen würden. Es ist aber zu erwarten, dass, wenn das Bein auf eine solche minder vortheilhafte Weise getragen wird, welche nicht allein selbst Kraftaufwand verursacht, sondern auch, weil die angestrengten Muskeln steif werden, die Bewegungen des Beins hemmt, Störungen und Unbequemlichkeiten beim Gehen eintreten werden, welche, wenn das Bein durch den Luftdruck äquilibrirt ist, nicht Statt finden.

Da nun in sehr hohen Regionen, wo sich der Luftdruck fast bis zur Hälfte vermindert, wirklich solche Unbequemlichkeiten, nämlich eine so grosse Ermüdung der Beine wahrgenommen wird, welche auf eine Störung des Gehmechanismus schliessen lässt, und welche nur so lange gefühlt wird, als man geht, beim Niedersetzen verschwindet, beim Weitergehen aber sogleich wieder eintritt, so forderte Herr von Humboldt uns auf, einen Versuch mit der Luftpumpe anzustellen, durch welchen das Herabsinken des Schenkelkopfes unter solchen Verhältnissen augenscheinlich gemacht würde, und zugleich entschieden werden könnte, ob der Grad der Luftverdünnung, welcher auf hohen Bergen Statt findet, ein solcher sei, dass der dadurch verminderte Luftdruck nicht mehr ausreiche, die Schwere des Beins zu tragen, und ob man dadurch berechtigt sei, jene Beschwerden von einer solchen Störung des Gehmechanismus abzuleiten. — Wir haben diesen Versuch bei unserer Anwesenheit in Berlin wirklich ausgeführt.

Ein frisches Becken, nebst Schenkelbeinen, welches wir der Güte des Herrn Professor Schlemm verdankten, wurde durch das Kreuzbein halbirt, und die Beckenstücken sowohl, als die Schenkelbeine so beschnitten, dass man die Hüftgelenke mit Bequemlichkeit unter der Glocke einer Luftpumpe aufhängen konnte. Senkrecht über dem Hüftgelenke wurde ein Loch durch den Beckenknochen gebohrt, und durch dasselbe eine Schnur gezogen, um mittelst derselben das Hüftgelenk frei aufzuhängen. Ein zweites Loch wurde senkrecht unter dem Gelenke durch das Schenkelbein gebohrt, um daran ein Gewicht zu befestigen, welches das Gewicht des abgeschnittenen Beins verträte.

Nach diesen Vorbereitungen führten wir im Laboratorio des Herrn Professor Magnus, und von demselben gütigst unterstützt, in Gegenwart des Herrn Professor Müller und unseres Bruders folgenden Versuch aus.

An dem einen Hüftgelenke wurde die Kapselmembran dicht am Schenkelbeine ringsum durchschnitten, so, dass sie nicht mehr beide Knochen unmittelbar mit einander verband. Die Anwesenden überzeugten sich, dass dieses wirklich vollständig geschehen war, und dennoch beide Gelenkflächen sich nicht allein noch vollkommen einander

berührten, sondern auch (durch den Druck der Luft) fest zusammen gehalten wurden. Darauf wurde der Beckenknochen mittelst der oberen Schnur an einen Haken befestigt, der sich an der Decke der Luftpumpenglocke befand. Der Apparat hing dann von der Decke der Glocke frei herab, und schwebte hoch über dem Teller, auf welchen die Glocke gesetzt wurde. An das Schenkelbein wurde mittelst der unteren Schnur ein zwei Pfund schweres Gewicht gehängt. Die Höhe des zu unterst hängenden Gewichts über dem Teller wurde von den Professoren Müller, Magnus und Weber gemessen, und darauf die Luft aus der Glocke gezogen, bis ihr Druck bis auf drei Pariser Zoll Quecksilber vermindert worden war. Dabei wurde zwar das Blut aus den Gefässen der Knochen herausgetrieben, aber der Schenkelkopf nebst dem daran hängenden Gewichte erhielten sich unverändert in ihrer Lage. Kaum war aber der Druck unter drei Zoll Quecksilber gesunken, so senkte sich der Schenkelkopf allmählig, und zwar über einen halben Zoll herab, so weit, als es die Kapsel gestattete. Die Kapselmembran bildet nämlich um den Hals des Schenkelkopfes einen Ring, welcher enger ist, als der Umfang des Schenkelkopfes. Dieser Ring gestattet daher zwar das Herabsinken des Kopfes, er hindert ihn aber, ganz aus der Pfanne zu entweichen, d. i. er verhütet die Verrenkung des Hüftgelenks.

Nachdem der Schenkelkopf in Folge der Verdünnung der Luft acht Linien tief (so weit es der beschriebene Kapselring gestattete) herabgesunken war, liessen wir die Luft wieder in die Glocke treten. Sogleich erhob sich der herabgesunkene Schenkelkopf nebst dem angehängten Gewichte, und stieg sehr schnell und auf eine sehr sichtbare Weise scheinbar von selbst, in der That durch den Druck der in die Glocke, aber nicht in den Pfannenraum wieder eindringenden atmosphärischen Luft in die Höhe, bis er an die Decke desselben anstiess, oder zu seiner ursprünglichen Höhe zurückgekehrt war. Dieser Versuch wurde nun mehrmals hinter einander wiederholt angestellt, indem man blos die Luft abwechselnd aus der Glocke herausziehen und einströmen liess, stets mit demselben Erfolge.

Darauf wurde der Versuch wiederholt, nachdem der Kapselring quer durchschnitten und der Schenkelkopf sogar ganz aus der Pfanne herausgenommen, jedoch mit Gewalt wieder hineingedrückt worden war. Wirklich wurde dadurch die in den Pfannenraum eingedrungene Luft so weit wieder verdrängt, dass der Schenkelkopf durch den Druck der Luft *von aussen* wieder schwebend erhalten wurde. (Unsere früheren Versuche ergeben, dass das Hüftgelenk wie eine Luftpumpe betrachtet werden kann, aus welcher der Stempel durch sein Gewicht nicht heraus-

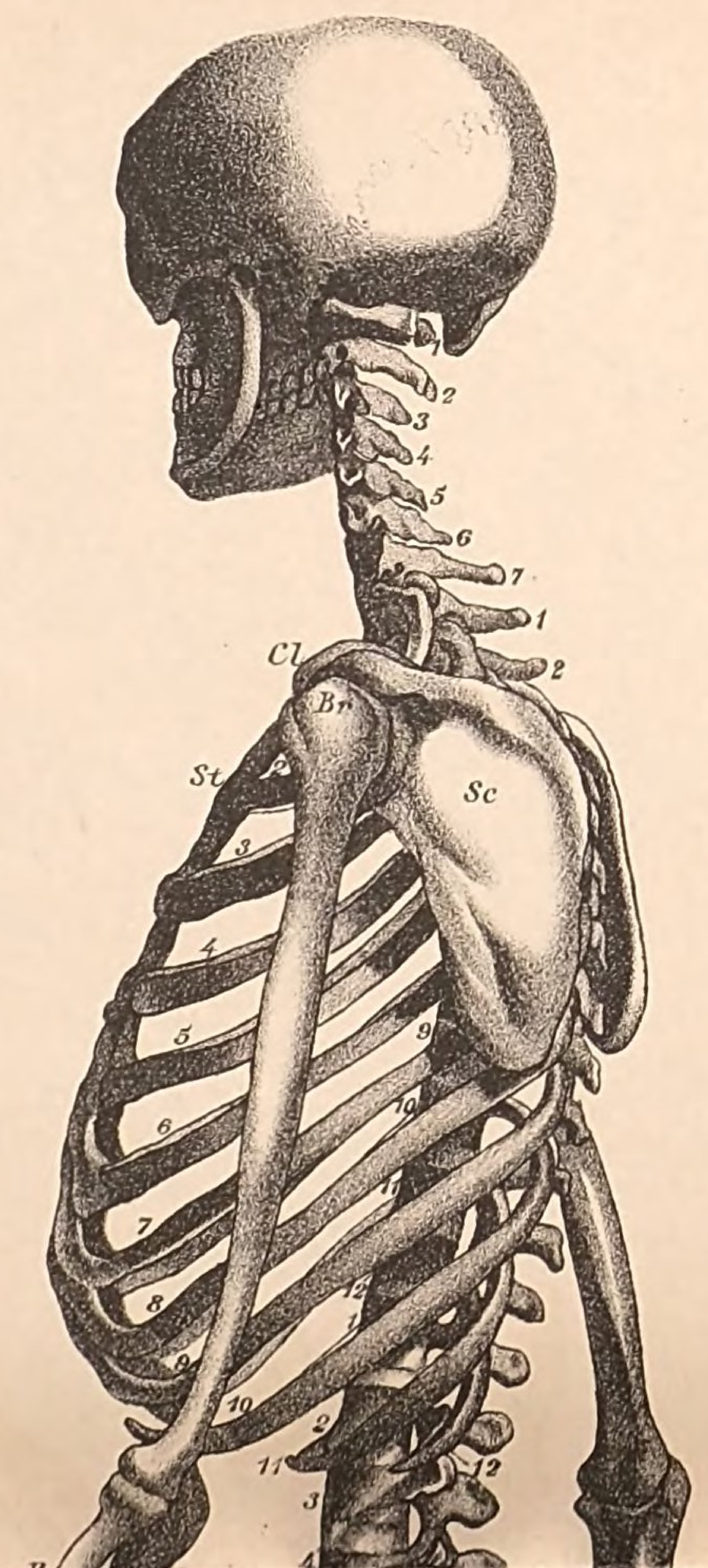
fällt, auch wenn etwas Luft im schädlichen Raume zurückgeblieben ist. Diese Luft wird nämlich sogleich sehr verdünnt, sobald der Stempel im geringsten sinkt. Wir bohrten nämlich ein feines Loch durch die Pfannenwand und verschlossen es bald, bald öffneten wir es, dem Zwecke unserer Versuche gemäss, konnten aber nicht verhindern, dass etwas Luft auch nach dem Verschliessen im Loche zurückblieb, von wo sie sich wie aus dem schädlichen Raume in die Pumpe verbreiten konnte, ohne unsere Versuche dadurch wesentlich zu stören.) Bei Verminderung des Luftdrucks fiel diesmal der Schenkelkopf etwas früher und ganz heraus, während vorher bei unvermindertem Luftdrucke das Gewicht des Schenkels sammt dem angehängten Gewichte sicher getragen worden war.

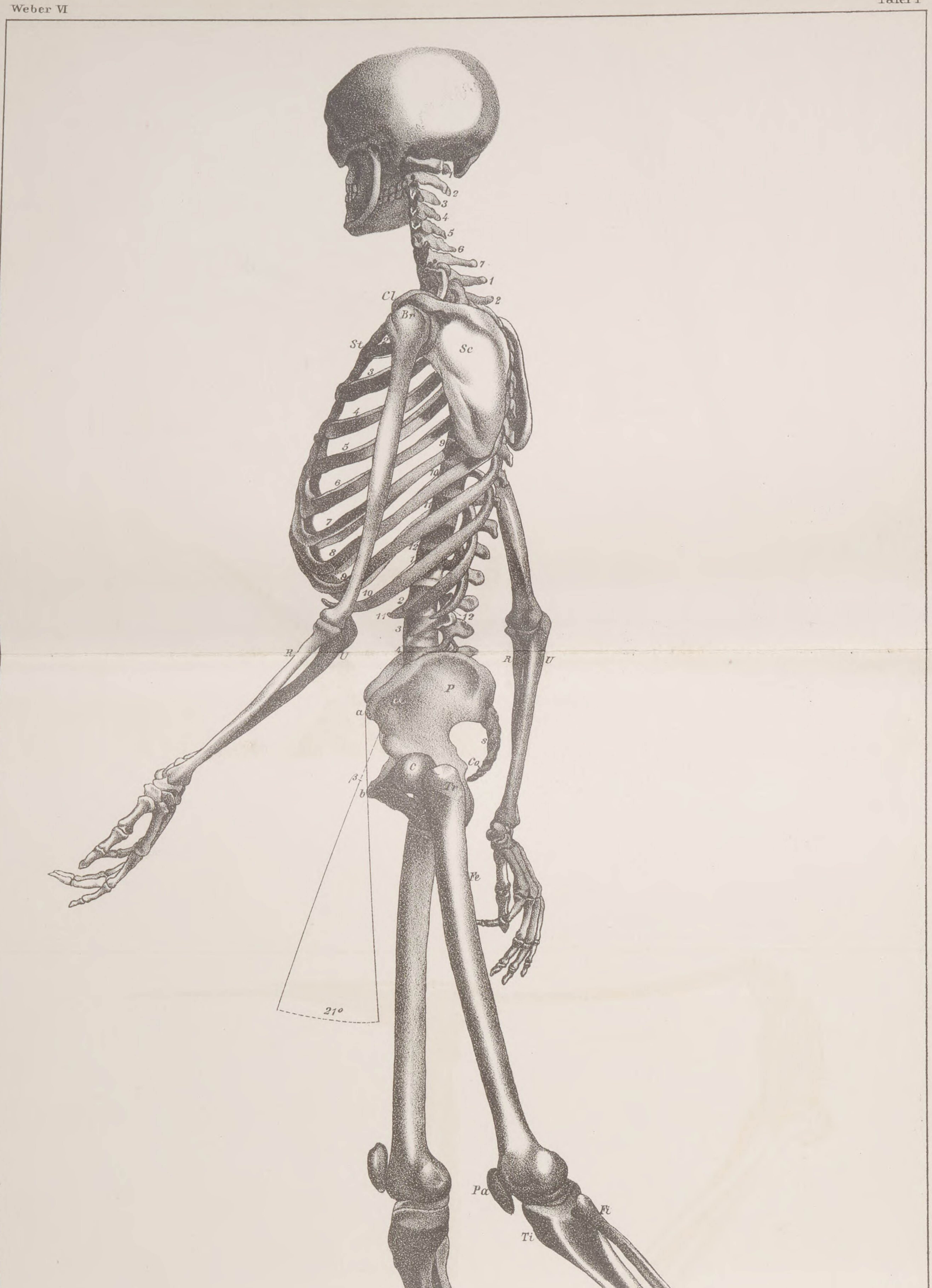
Wir beabsichtigten, diese Versuche an dem anderen Hüftgelenke noch mehrfach abgeändert anzustellen. Es zeigte sich jedoch, dass beim Herausnehmen des Gelenks die *incisura acetabuli* zu sehr entblösst worden war, so dass die Luft das in derselben befindliche Fett und Zellgewebe in sie hineindrängte, wenn man das Schenkelbein ausserhalb der Glocke mit einem Gewichte beschwerte, so dass das Gewicht schon in freier Luft beide Gelenkflächen etwas von einander entfernte. Die Anwesenden überzeugten sich jedoch, dass die Gelenkflächen fest an einander schlossen und nur mit grossem Kraftaufwande von einander gerissen werden konnten, sobald man die *Incisur* mit dem Finger bedeckte, und dadurch den Druck der Luft von ihr abhielt.

Diese Versuche bestätigen nicht nur im Allgemeinen die Richtigkeit der von Alexander von Humboldt geäusserten Vermuthung, sondern können insbesondere auch dazu dienen, die Hauptfrage zu entscheiden, ob die Verdünnung der Luft auf hohen Bergen schon hinreiche, diese Erscheinung hervorzubringen. Diese Versuche haben nämlich ergeben, das etwa $2\frac{1}{2}$ Pfund (das Gewicht des abgeschnittenen Schenkelbeins und des daran hängenden 2 Pfund-Gewichtes), bei etwa 3 Zoll Barometerstand noch getragen, bei einer geringen Verminderung des Drucks schon nicht mehr getragen wurden. Rechnet man das Gewicht des ganzen Beins zu 20 Pfund, d. i. acht Mal grösser, so würde ein Druck von 24 Zoll Quecksilber hinreichen, das ganze Bein zu tragen. Sinkt also das Barometer auf hohen Bergen unter 24 Zoll herab, so dürfen beim Gehen die Muskeln des vom Boden aufgehobenen nach vorn schwingenden Beins nicht gänzlich erschlaffen, sondern müssen so gespannt bleiben, dass sie für jeden Zoll tieferen Barometerstand wenigstens $\frac{5}{6}$ Pfund mehr tragen. In Folge dieser ungewohnten fortdauernden Spannung werden die Muskeln nicht allein ermüden, sondern es wird auch, weil diese Anspannung im Widerstreit steht mit der vom Beine auszuführenden Schwingung, eine

Unannehmlichkeit und Unbequemlichkeit für den Gang selbst daraus hervorgehen, die sich in der beschriebenen Empfindung von Müdigkeit kund zu geben scheint.

Es verdient noch bemerkt zu werden, dass beim freiwilligen Hinken, wo das Bein auch nicht mehr durch den Luftdruck in seiner Lage erhalten wird, sondern schon beim Beginnen des Uebels so weit aus der Pfanne herabsinkt, als die Kapselmembran gestattet, gleichfalls eine baldige und grosse Ermüdung beim Gehen wahrgenommen wird, welche oft, nächst der Verlängerung des Beins, fast das einzige Merkmal ist, wodurch das beginnende Uebel sich äusserlich kund giebt.


Cl
Br
St
Sc


Cl
Br
St
Sc
R
U
R
U
P
a
b
C
Tr
Co
Fe
21°
Pa
Ti
Fi
Ca
T
M
m
N
T
Ca
m
(S 5.41.42.46)

Weber VI


Fig. 1.

(S. 41. 42. 50. 61. 62.)

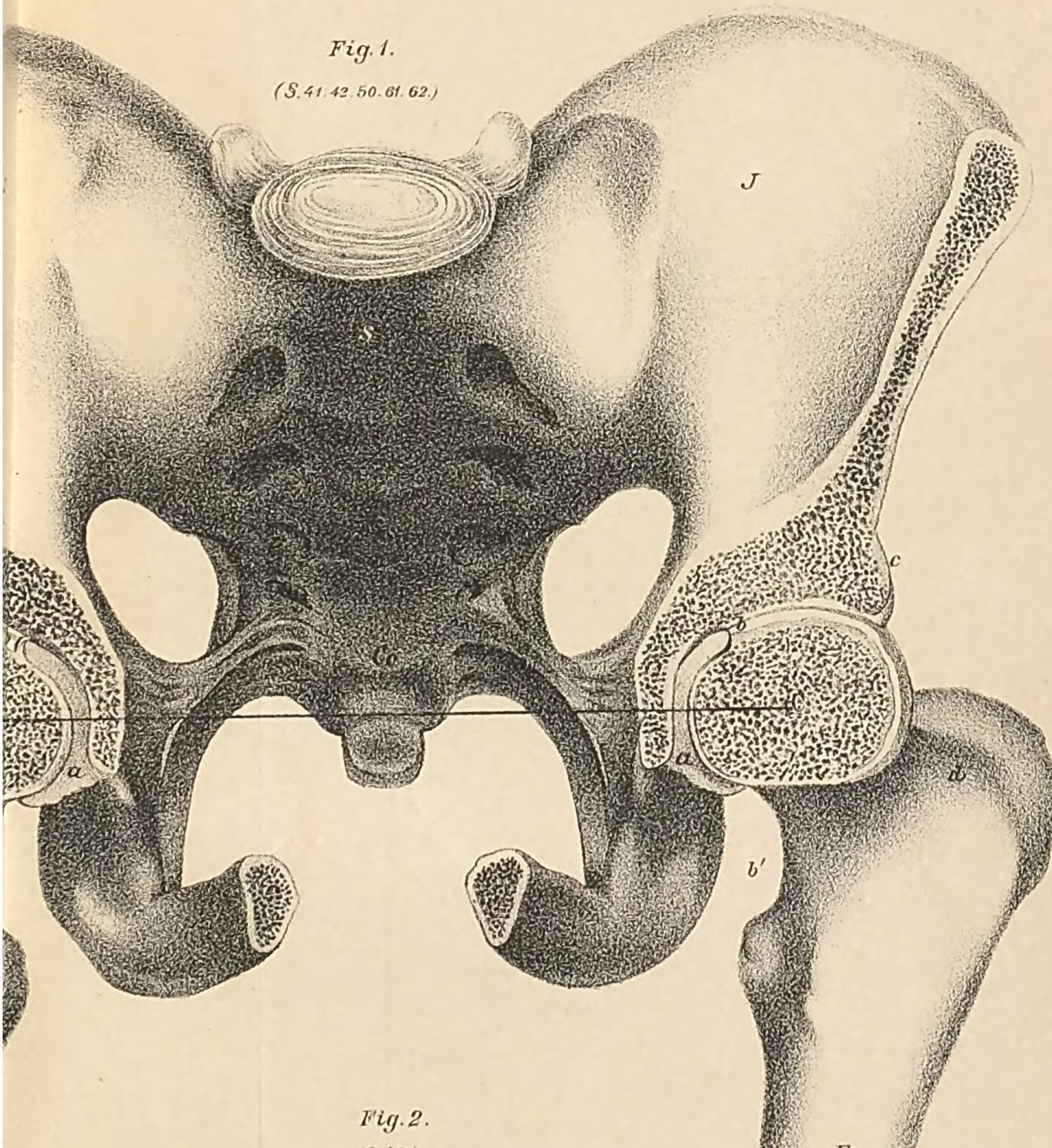
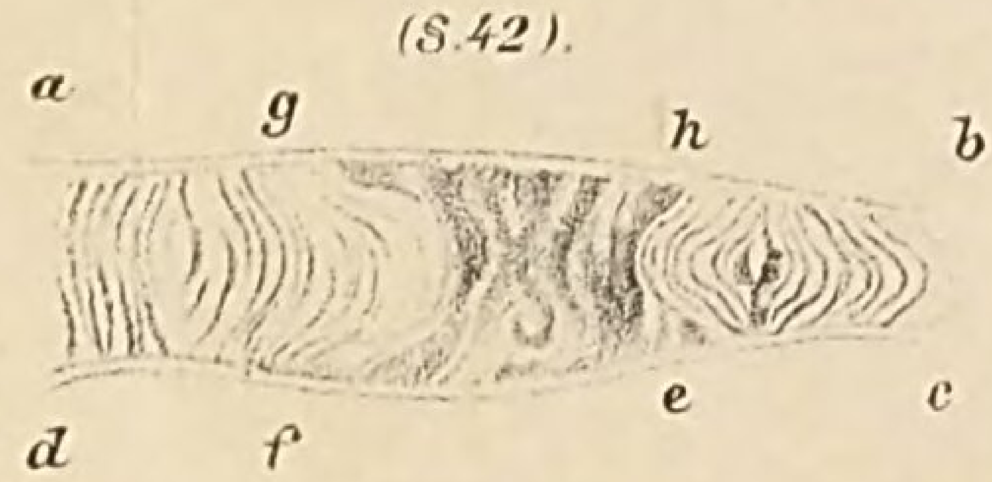


Fig. 2.

(S. 42).



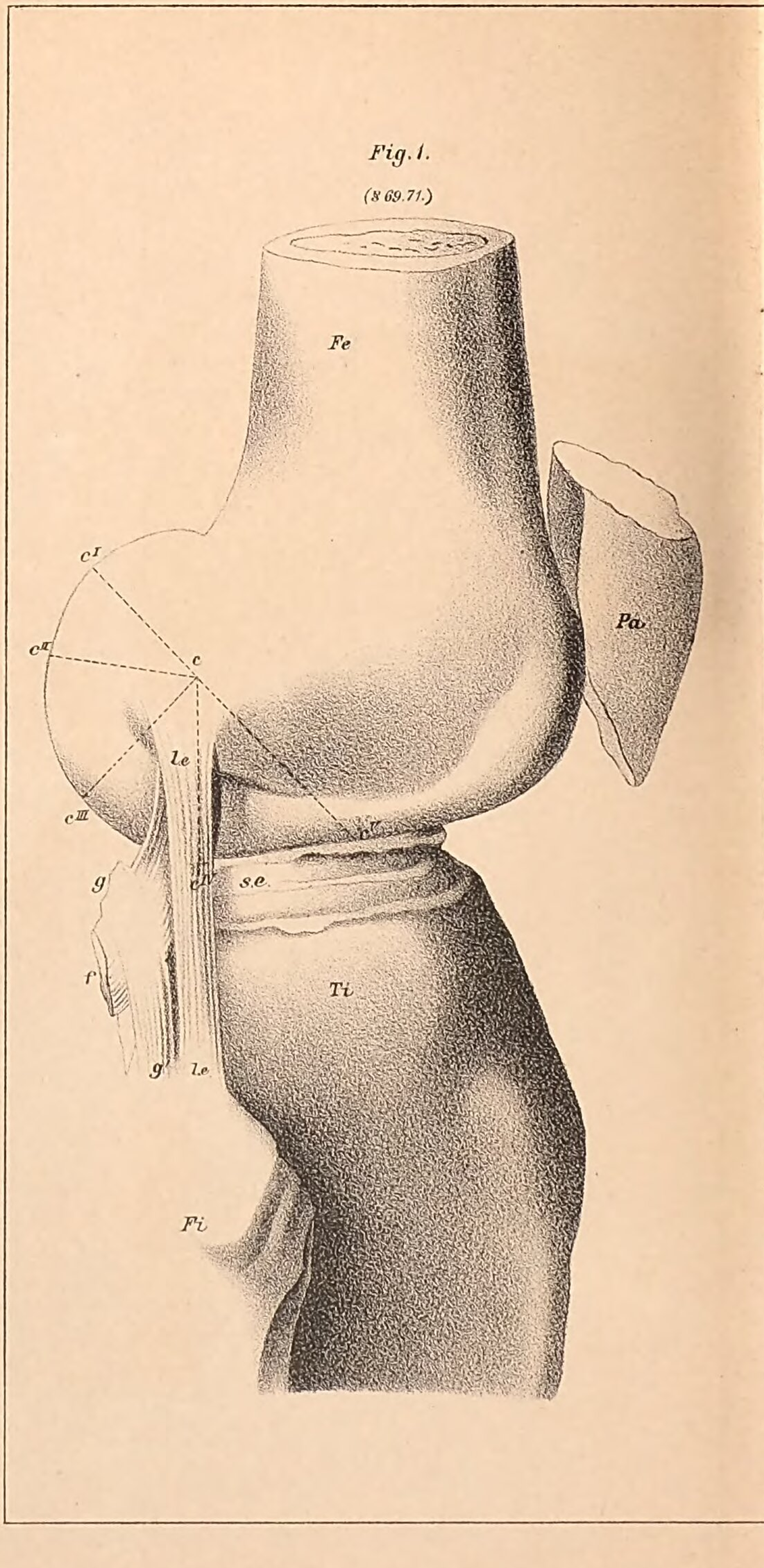

Fig. 1.
(§ 69.71.)
Fe
Pa
c
le
s.e.
g
f
g'
l.e.
Ti
Fi

Fig. 2.

(S 71.)

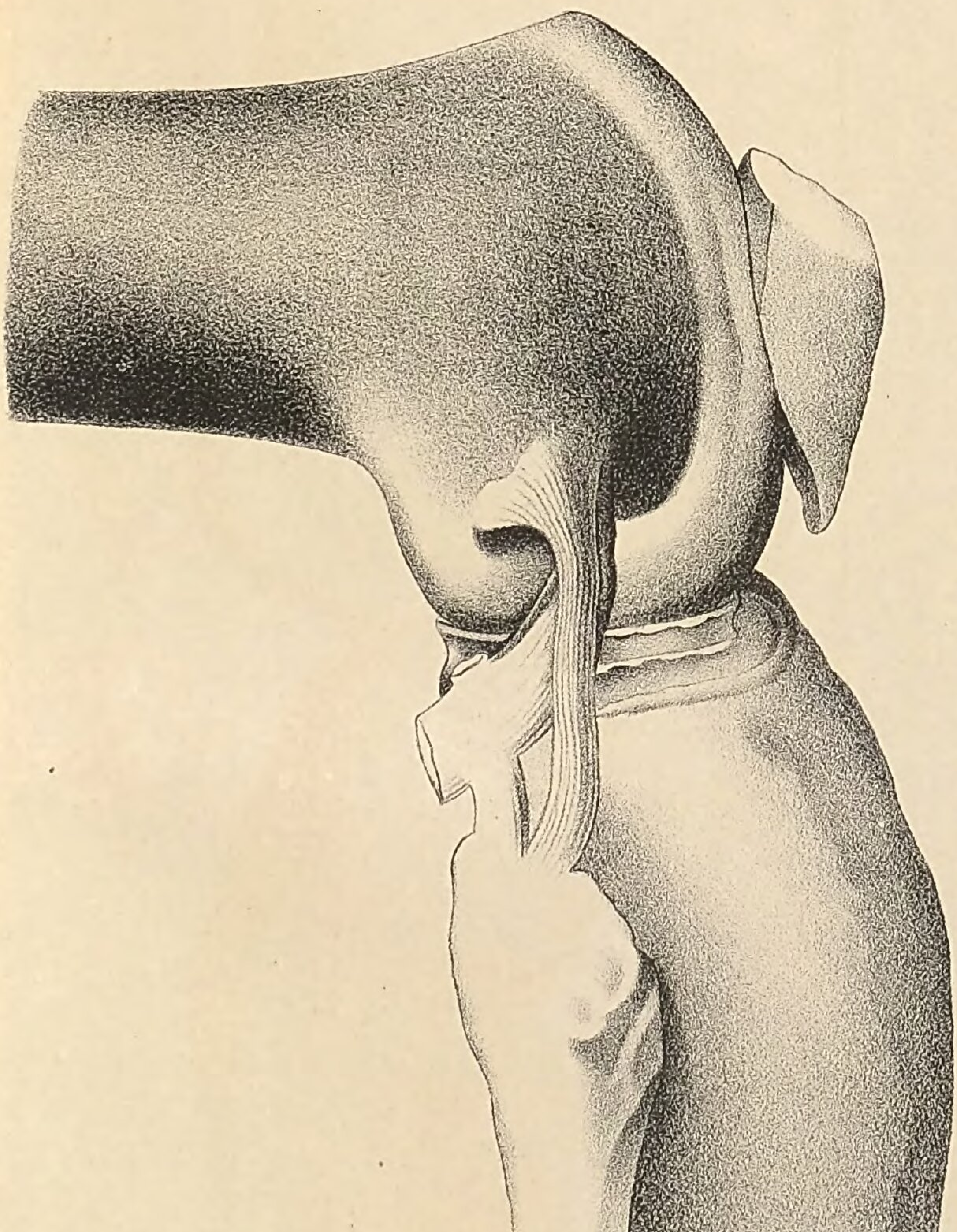
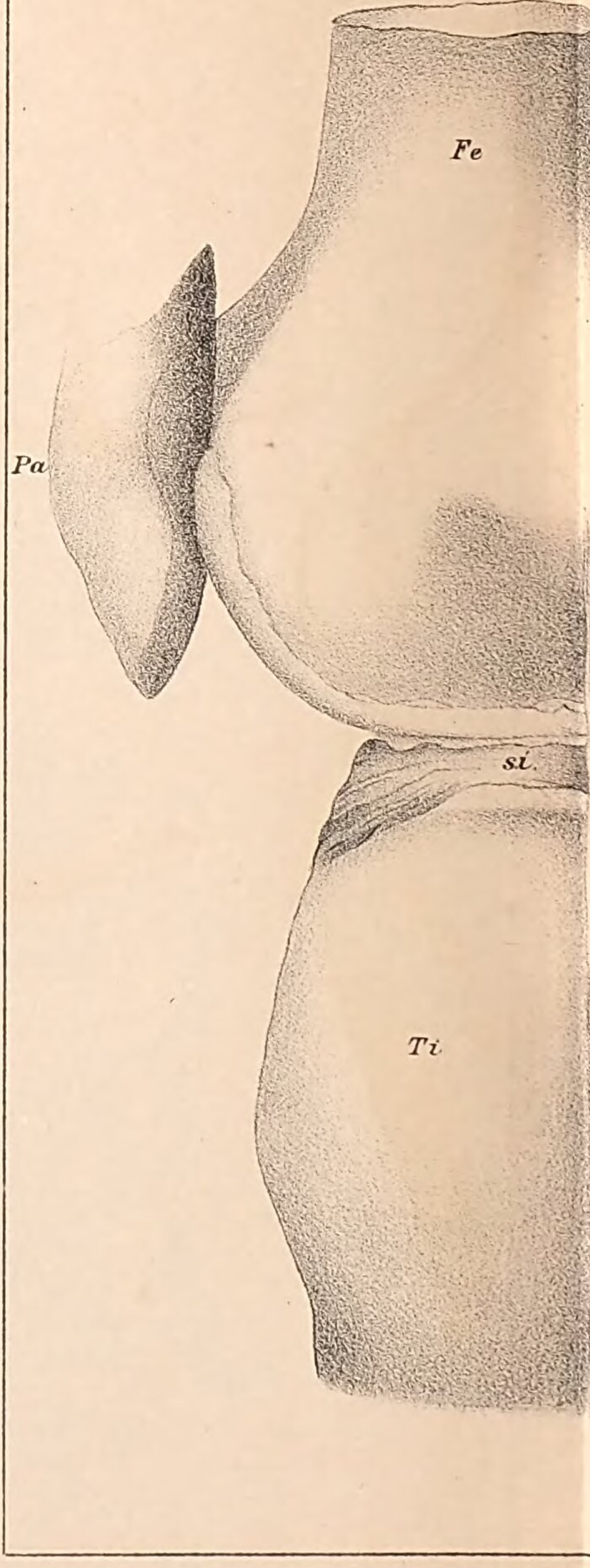


Fig. 1.
(§ 69.71)



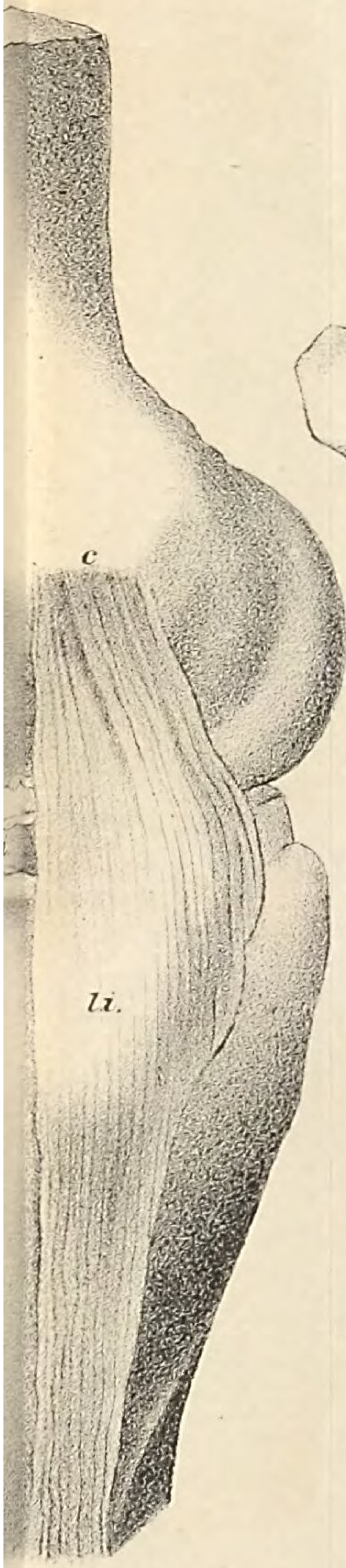


Fig. 3.
(§ 83)

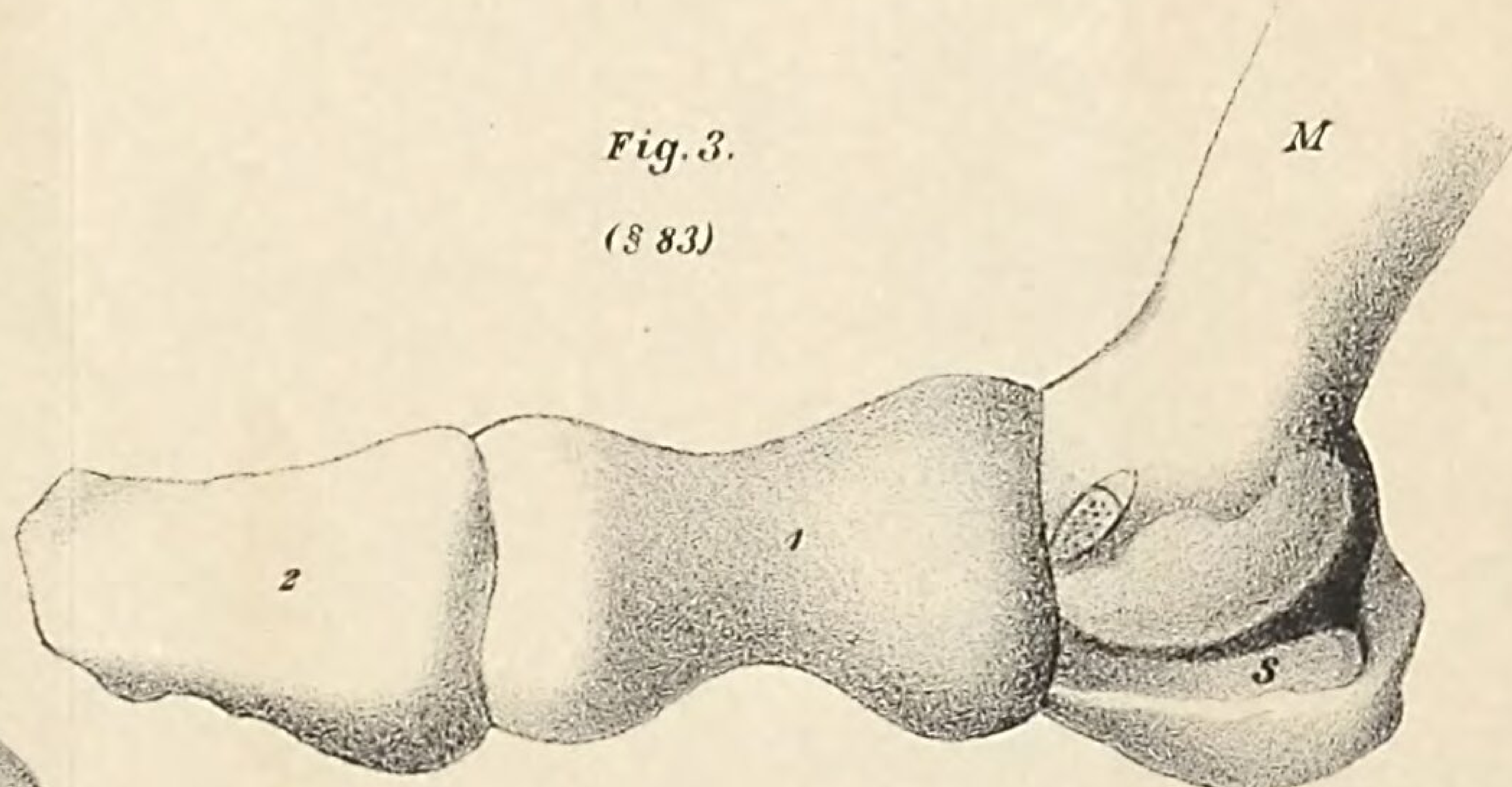
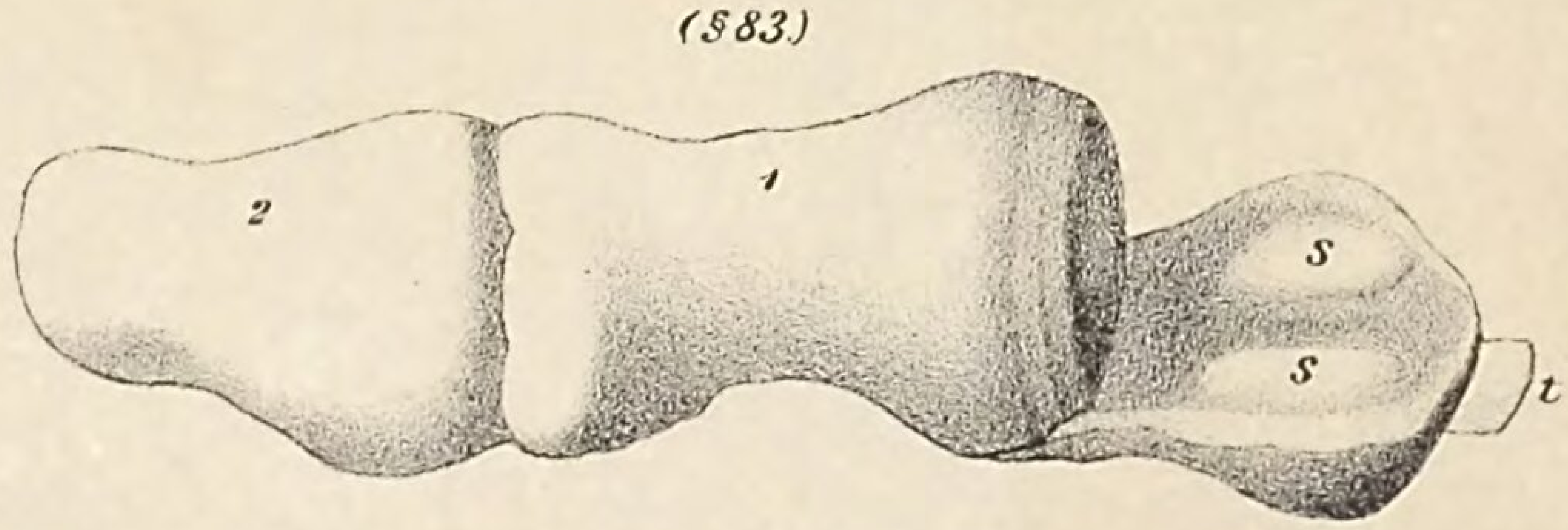


Fig. 2.
(§ 83)



Weber VI


Fig.1.

(§ 69.71.72.)

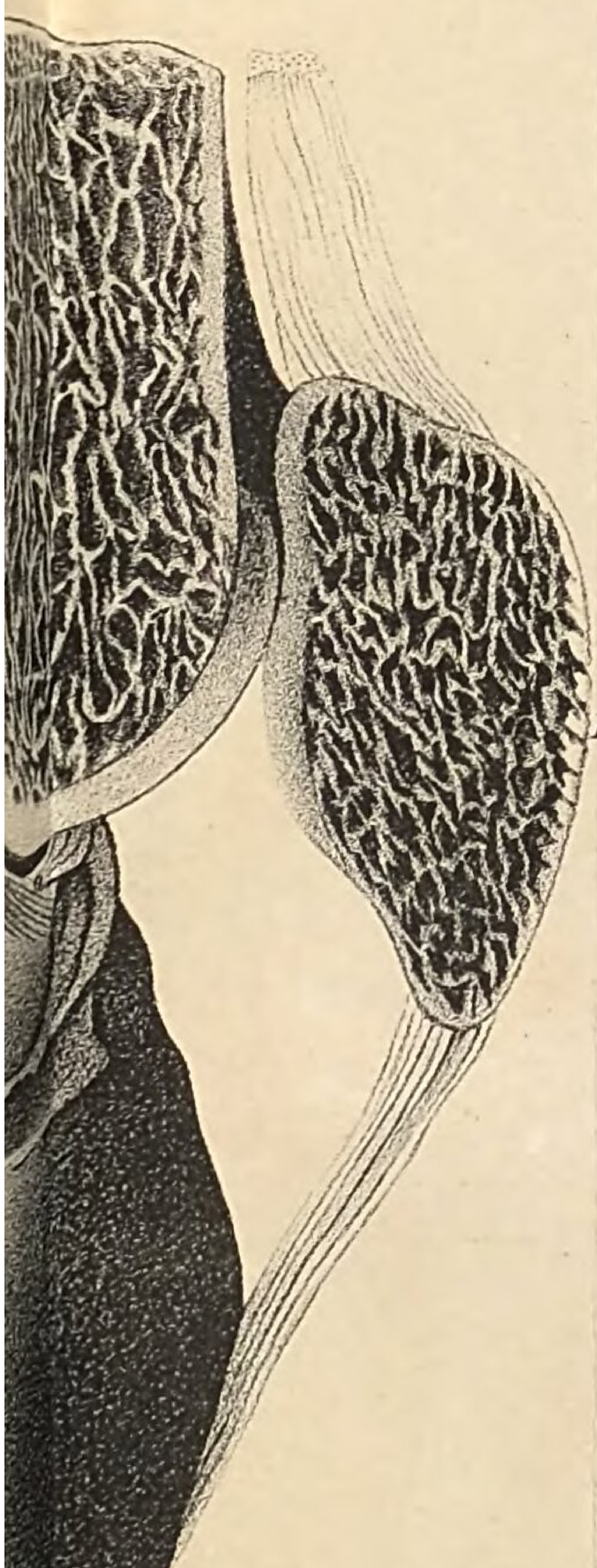


Fig.2.

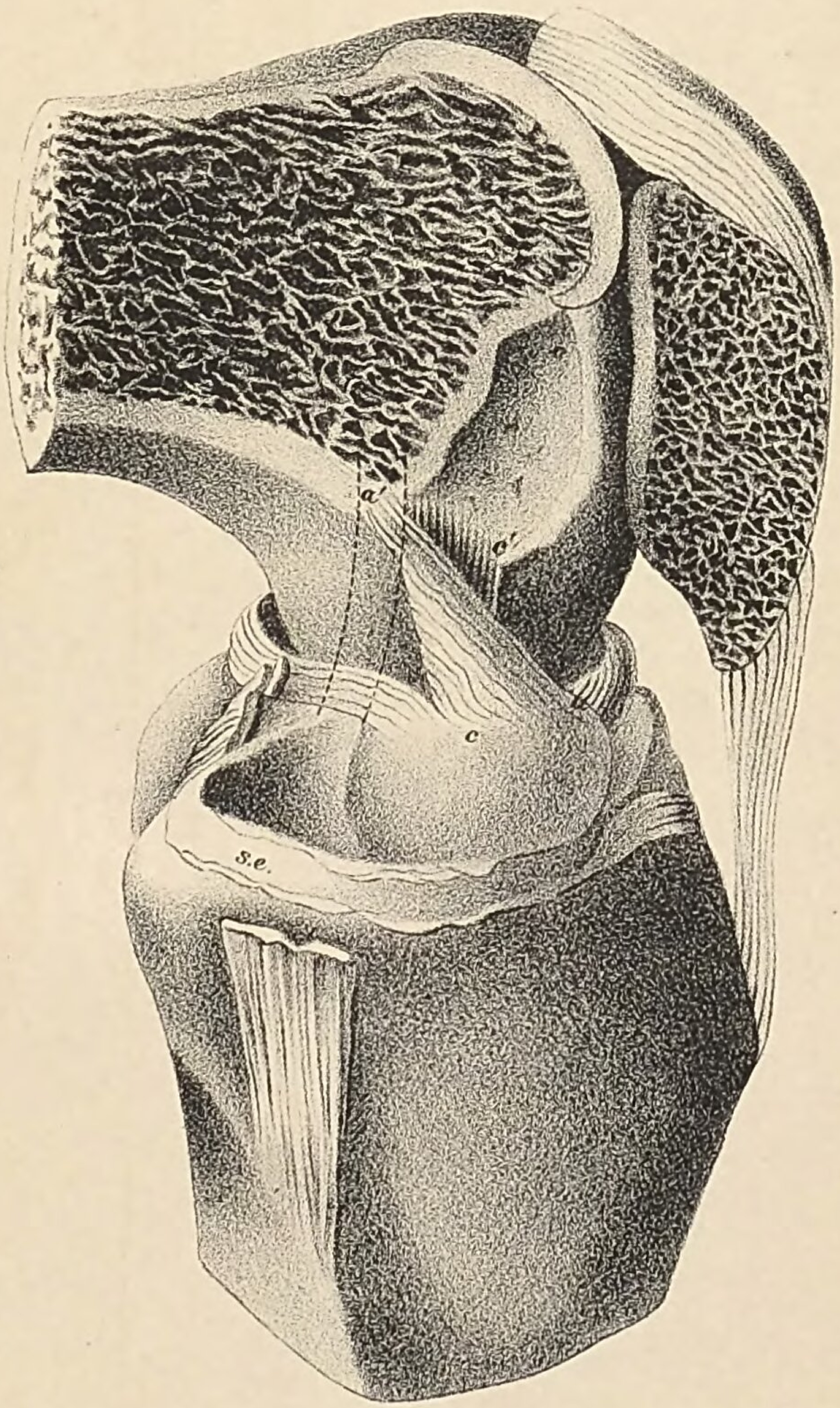


Fig. 2.

(S. 69.72.73)





Fig. 1.
(S. 69. 72. 73.)

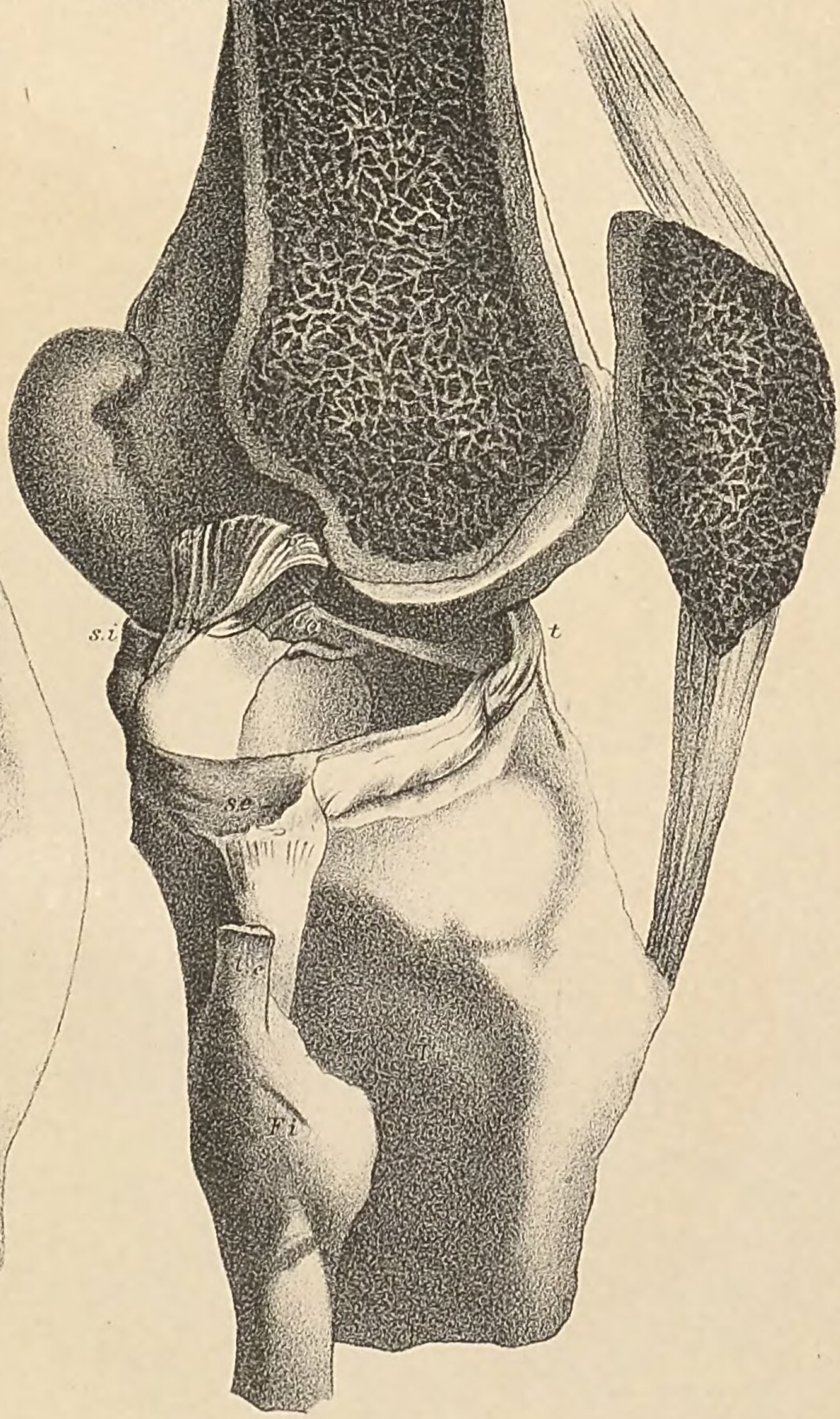


Fig. 1.

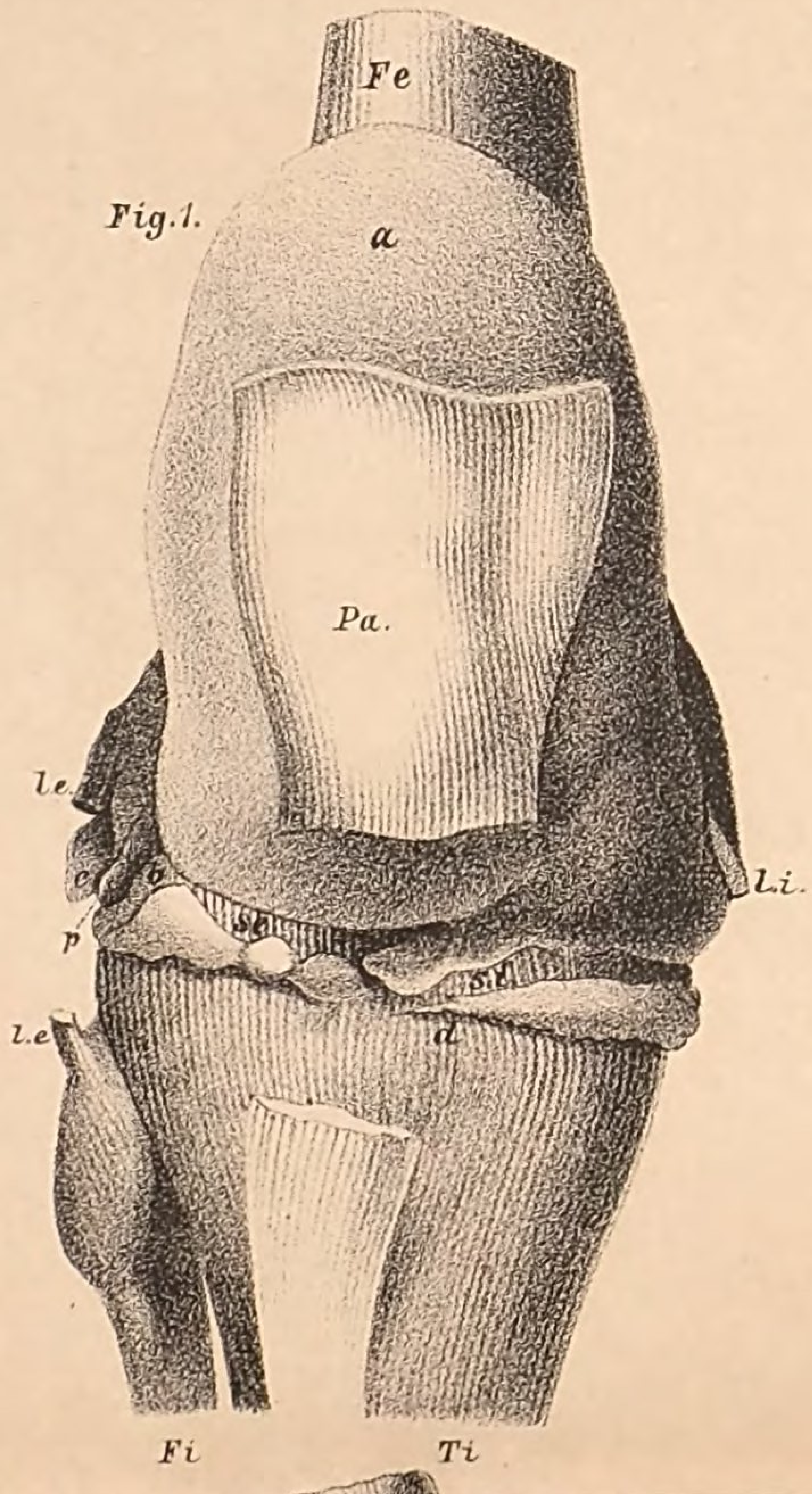


Fig. 2.

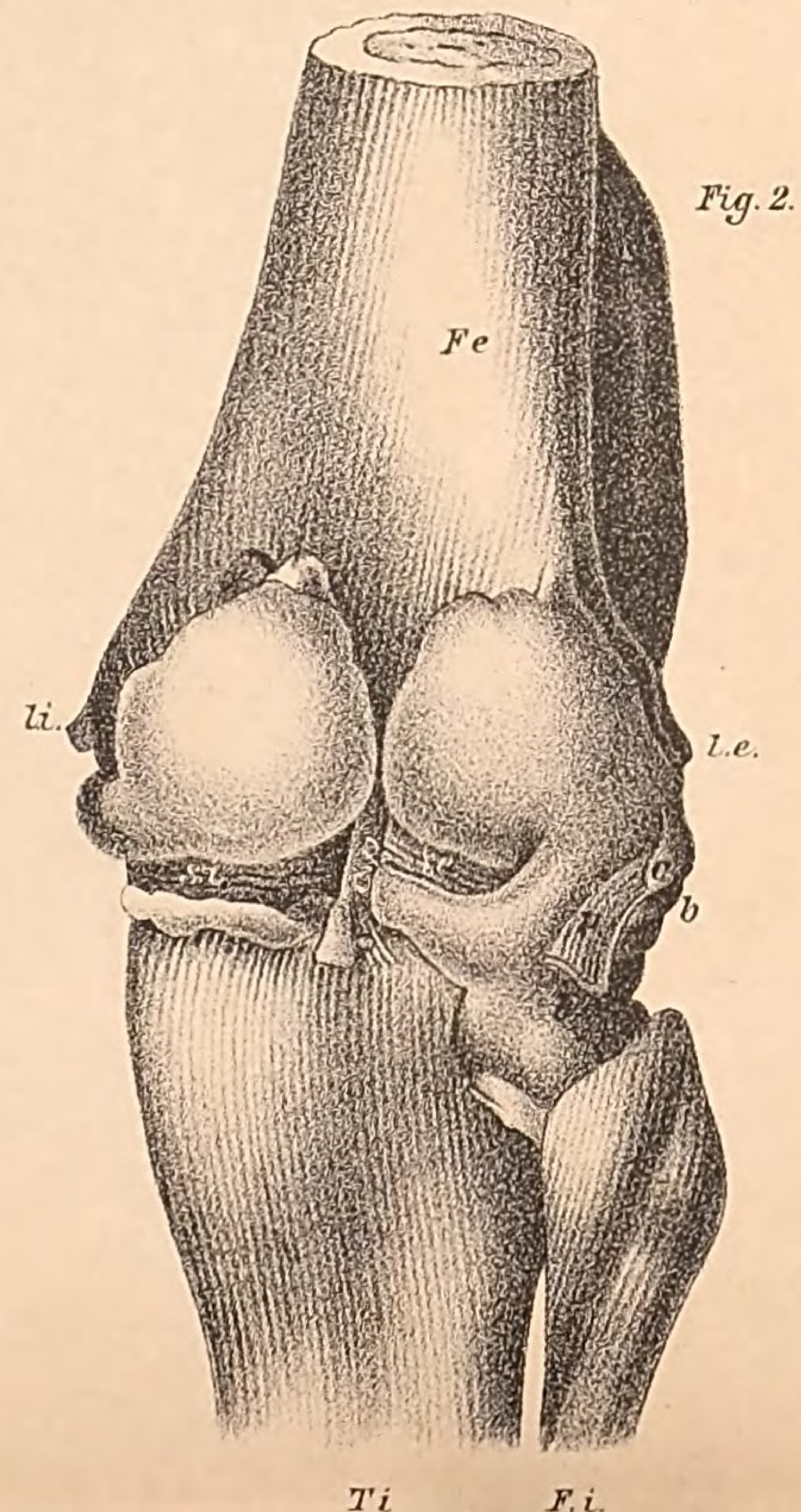


Fig. 3.

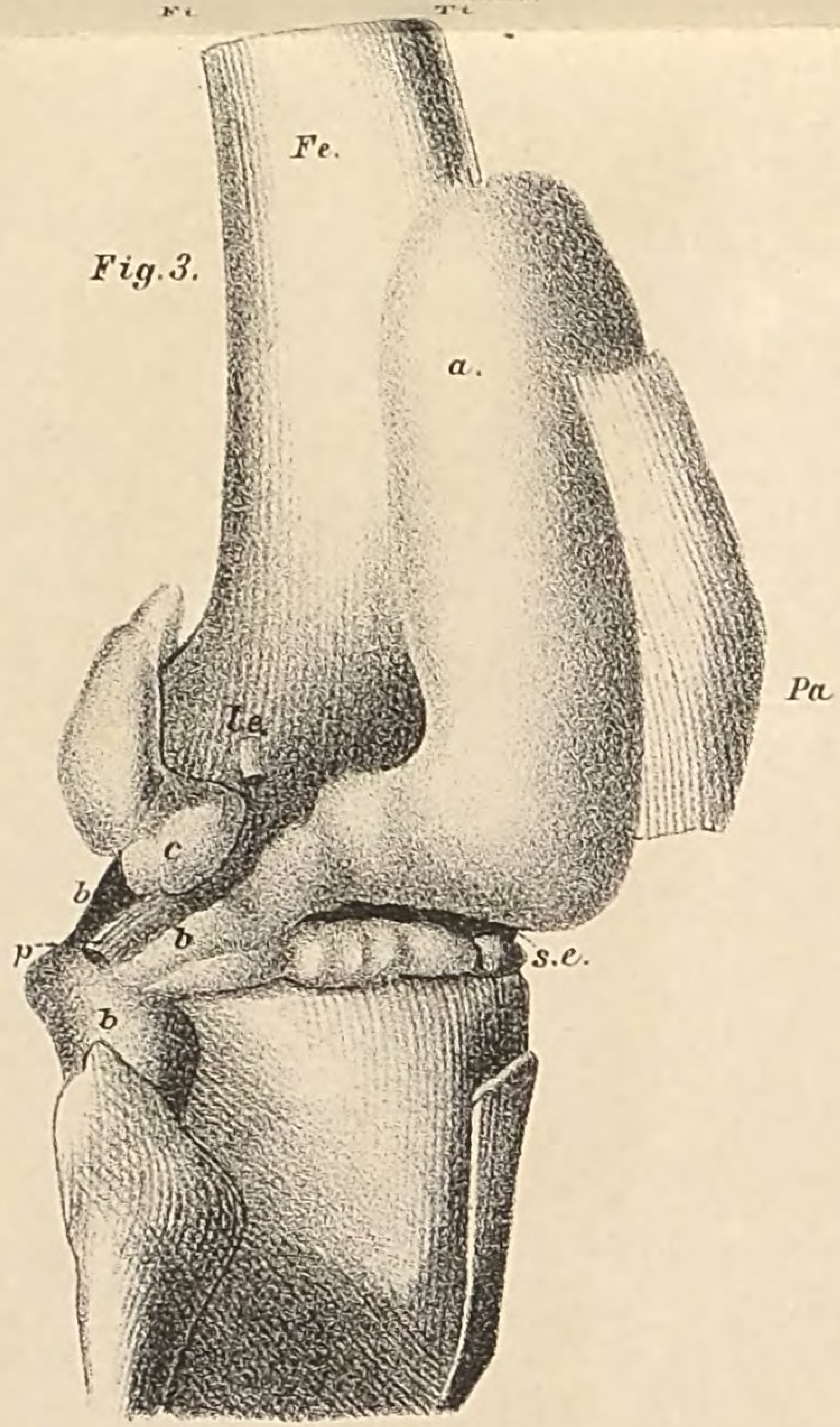
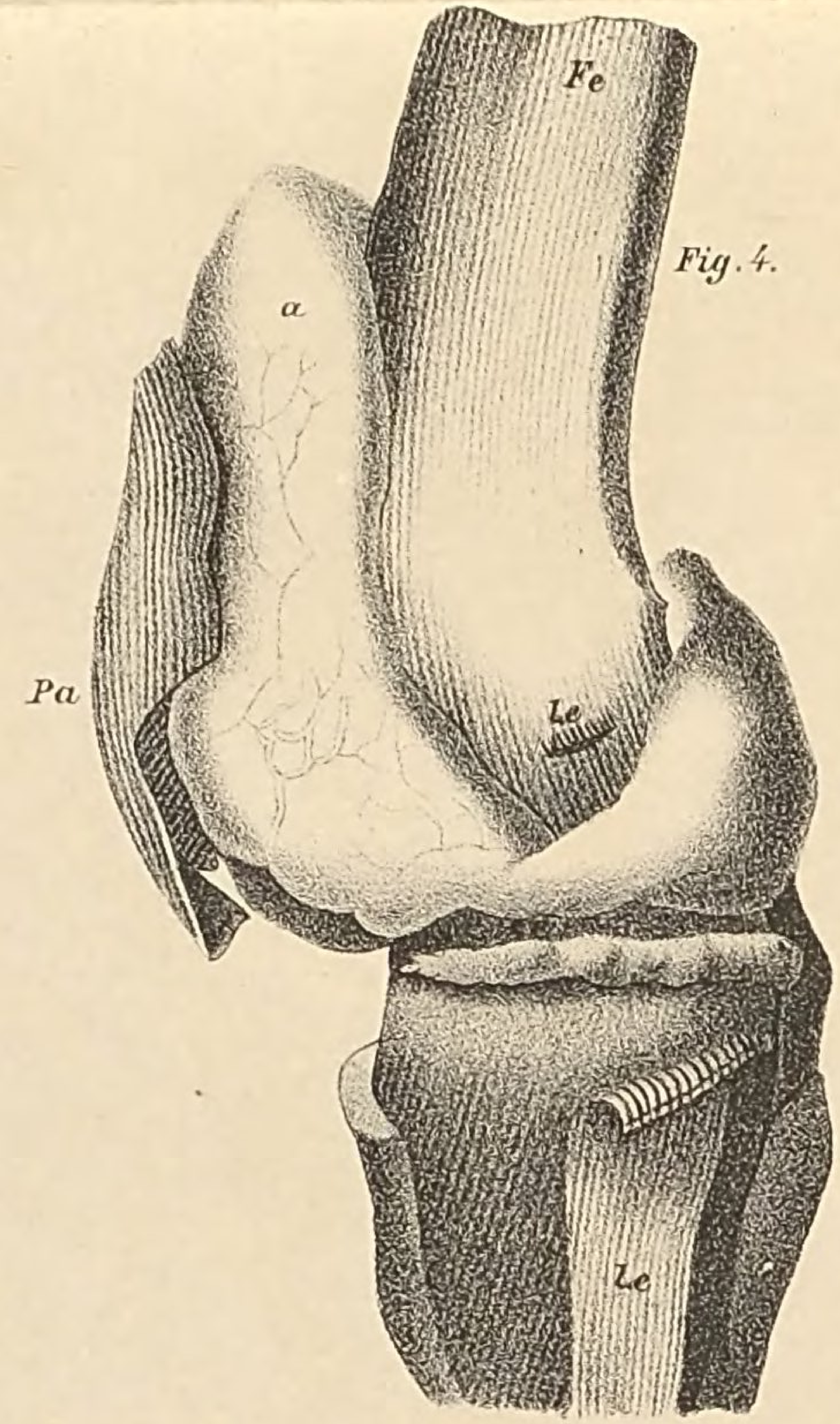



Fig. 4.



S. 77.


a
A
A
E
X = 38°
b
Y = 52°
c
d
Prom.
Z = 50°
Sacr.
w
C
Pub
56°
e
w
6°

Weber VI

Fig. 1.

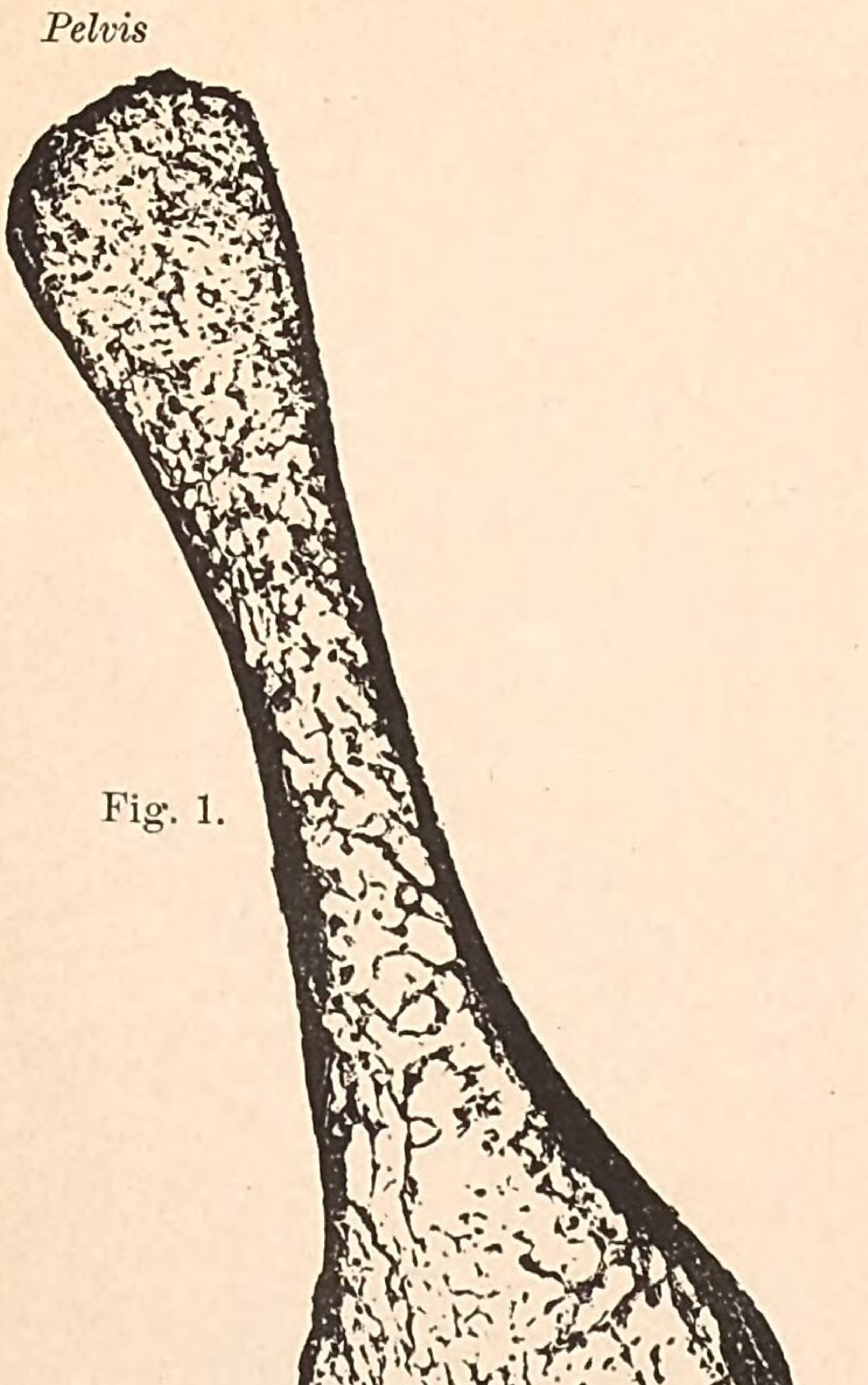


Fig. 3.



Fig. 4.



Tafel IX



Ulna

Pelvis

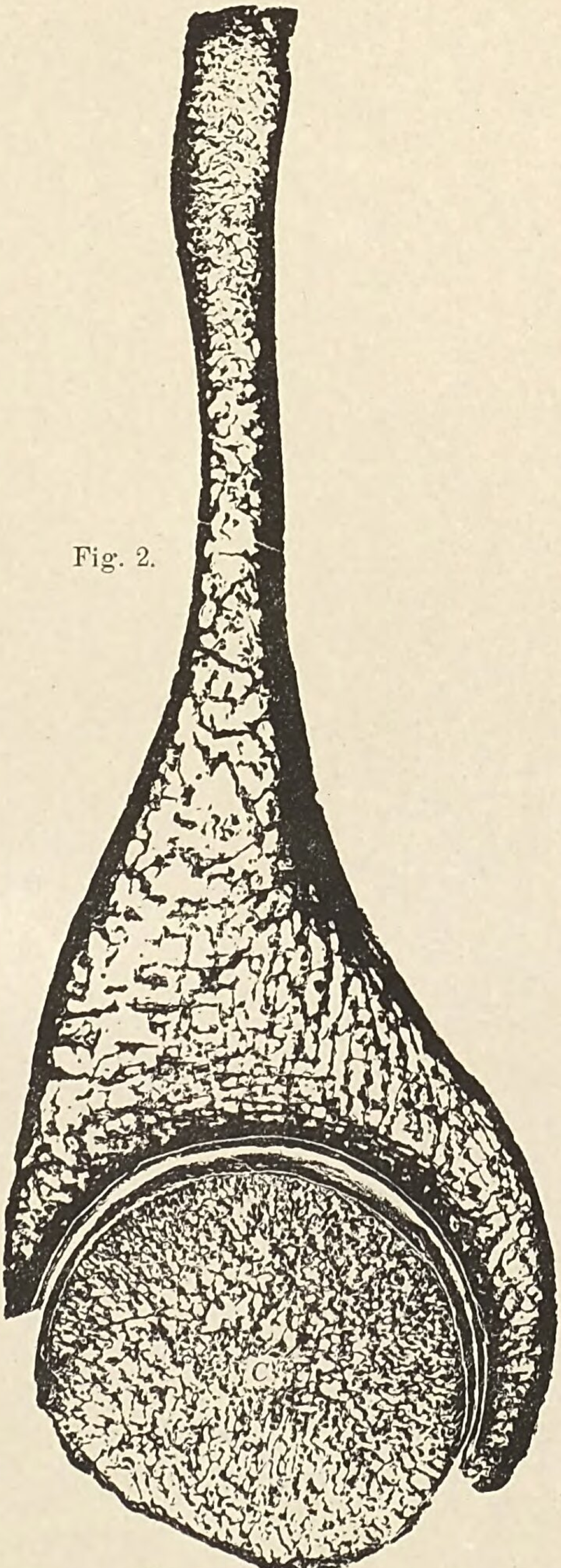
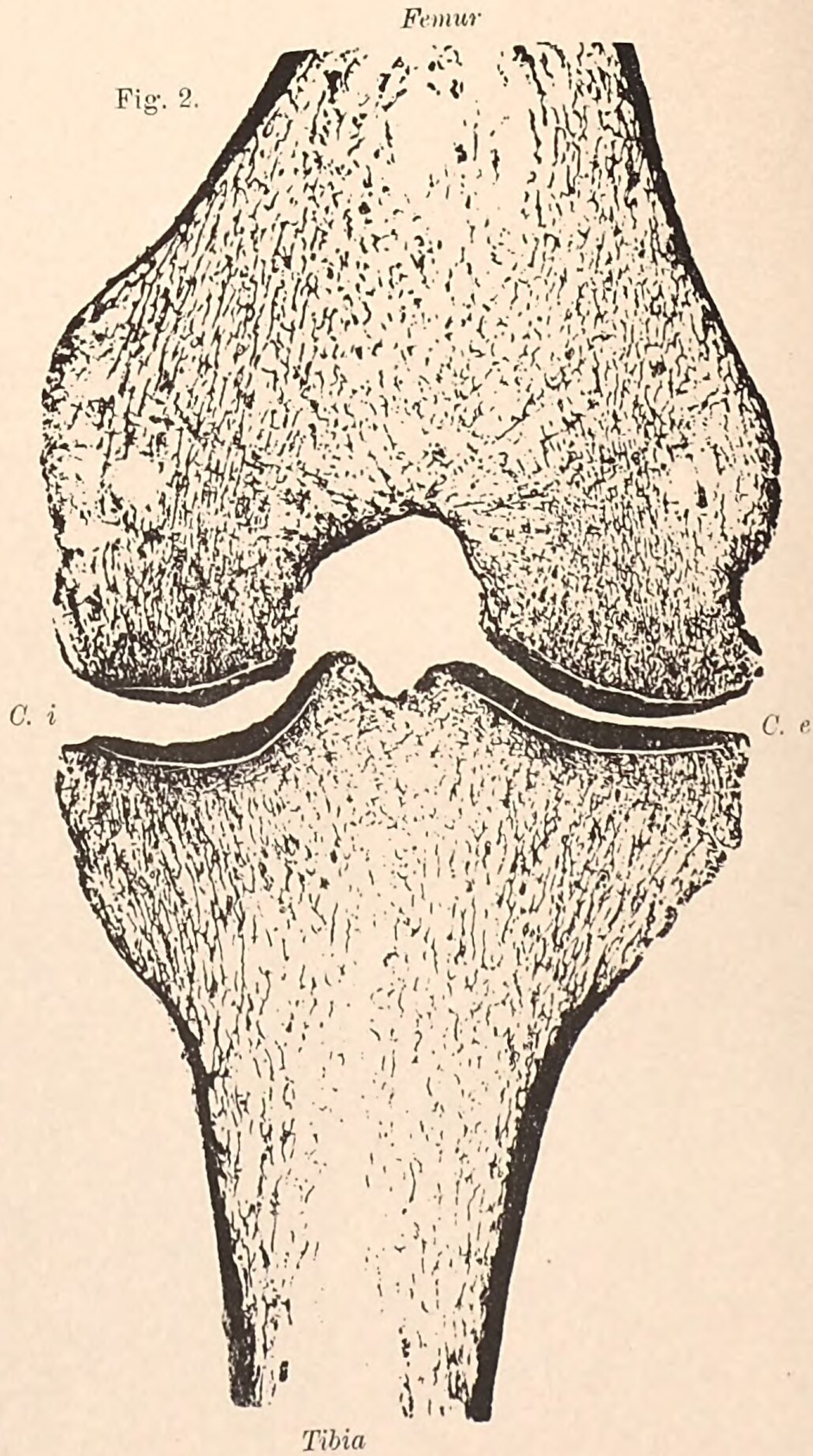


Fig. 2.

Femur

Fig. 2.



Tafel X

Fig. 1.

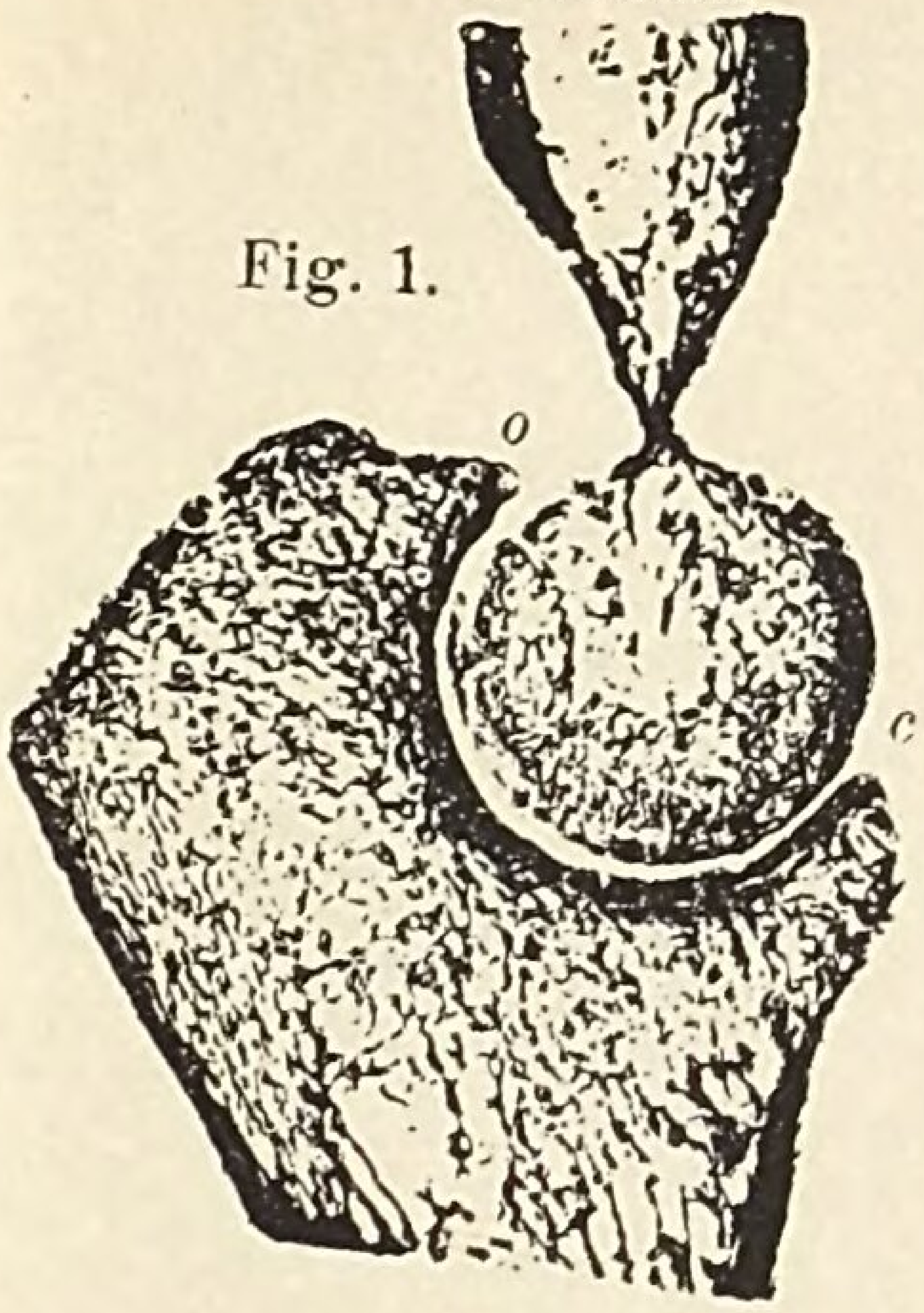


Fig. 4.

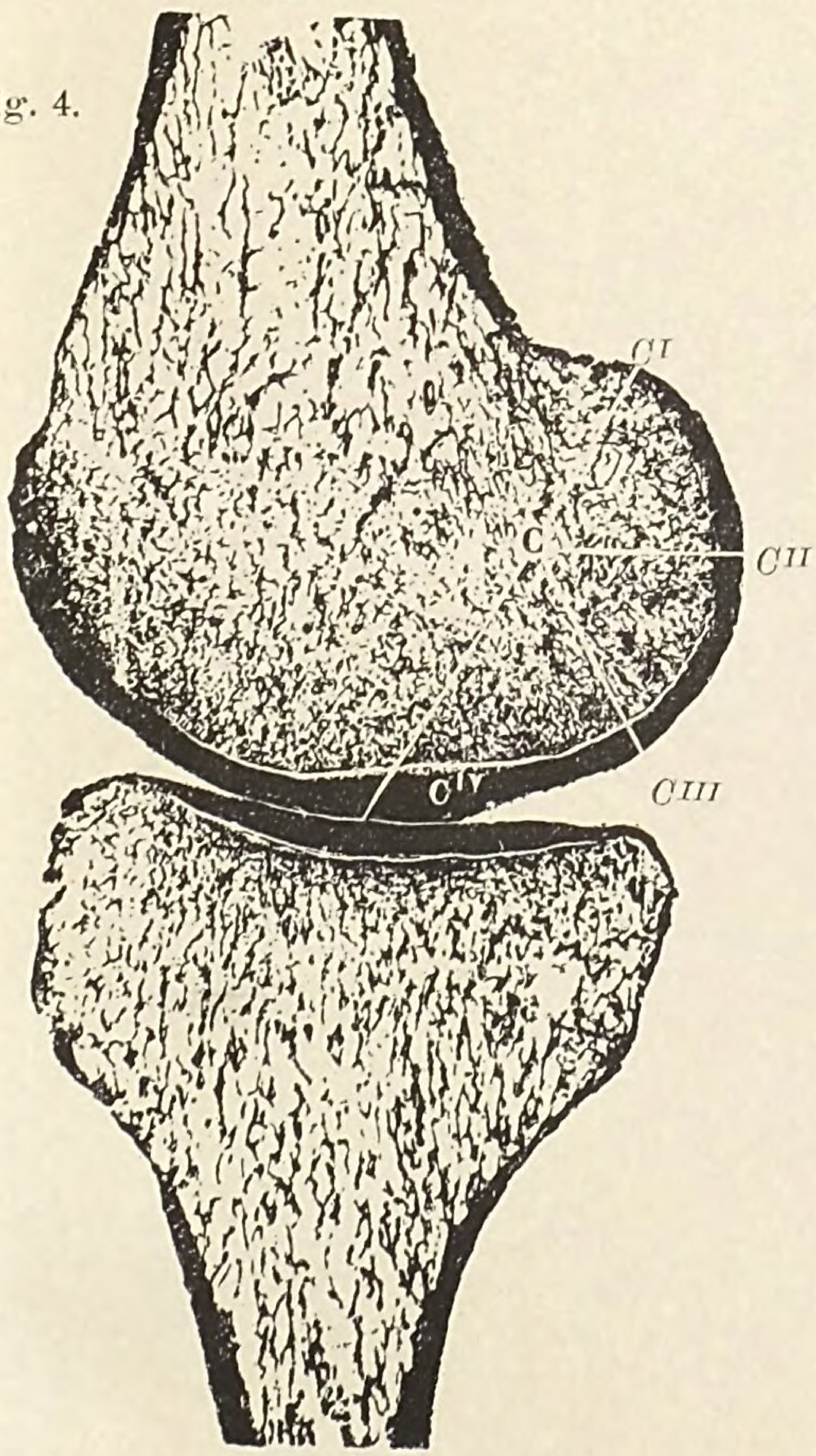


Fig. 3.

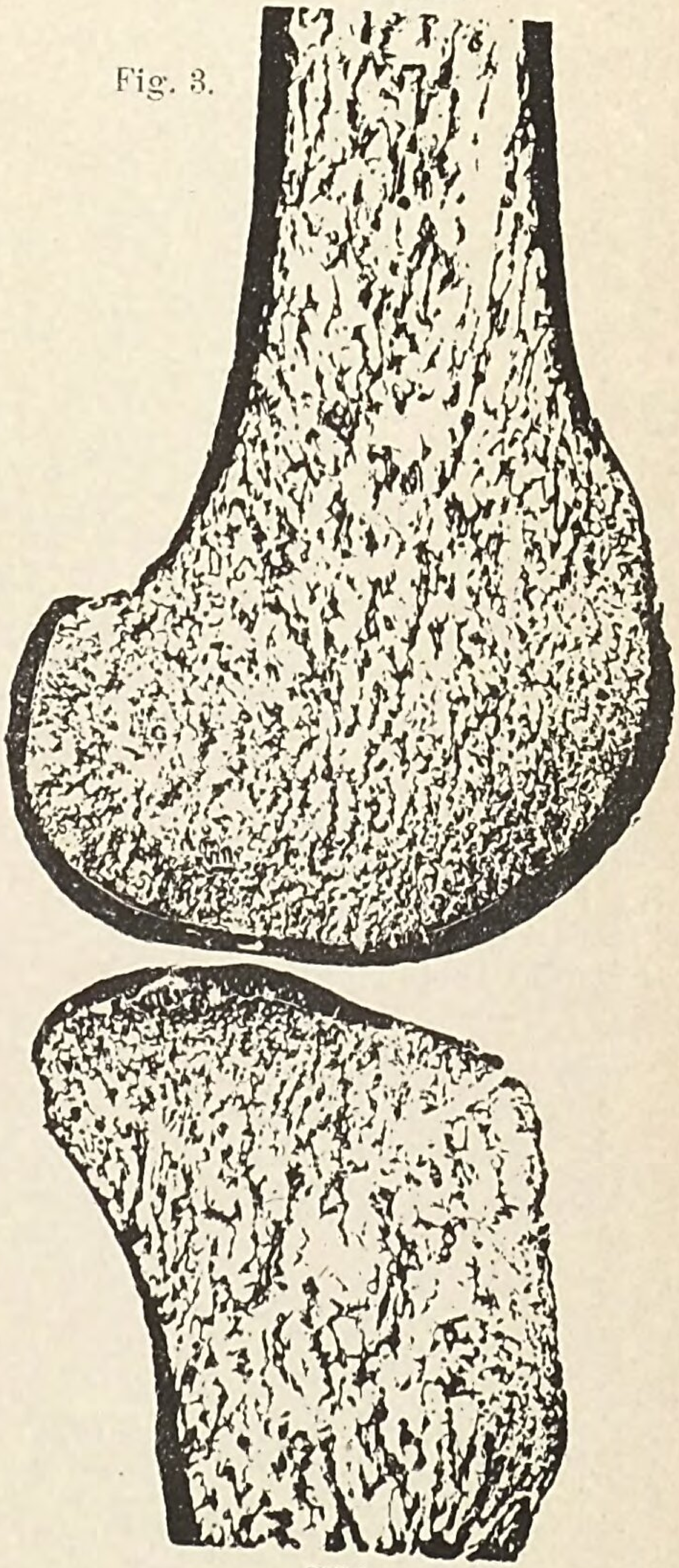
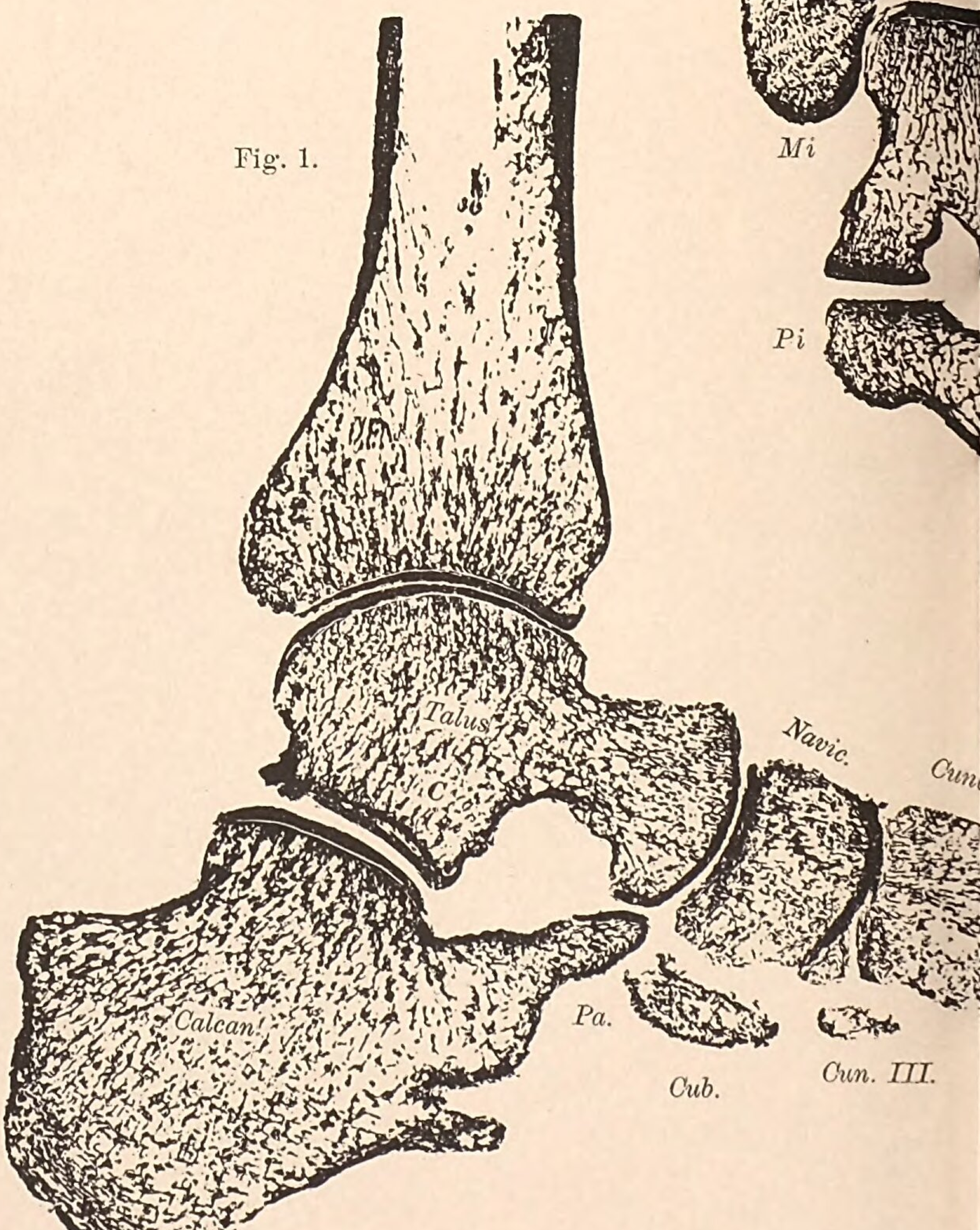


Fig. 2.



Fig. 1.



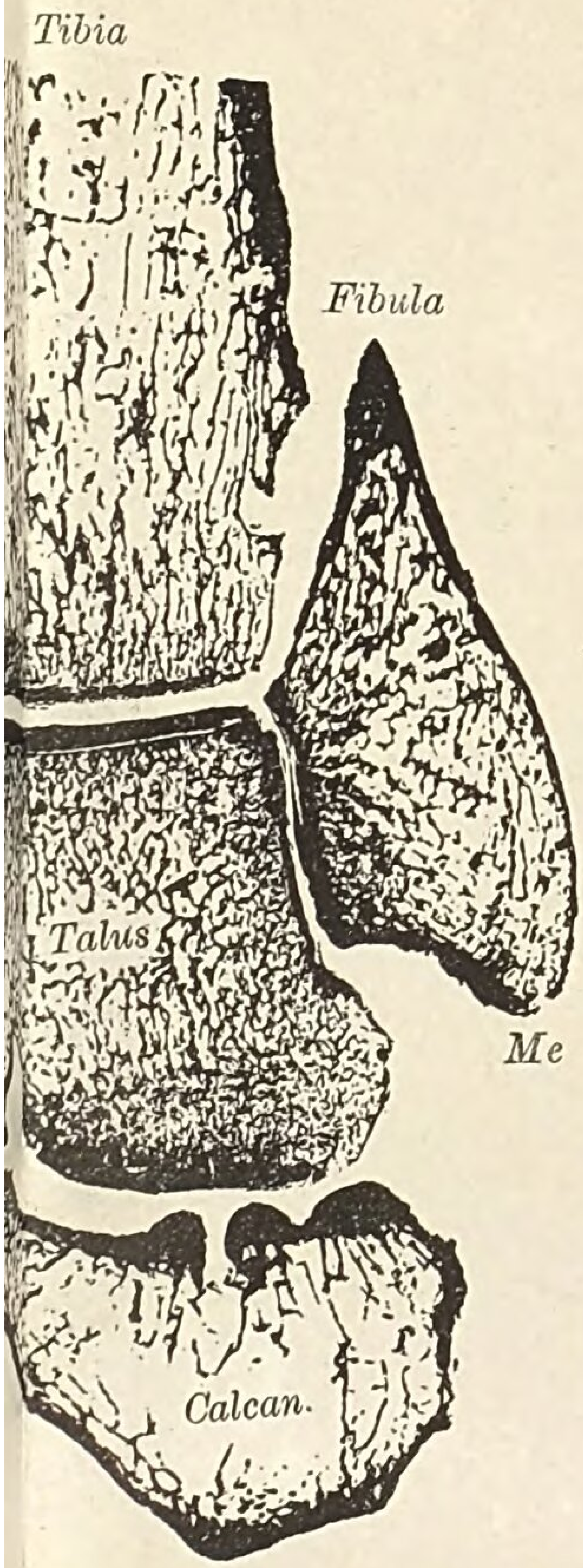
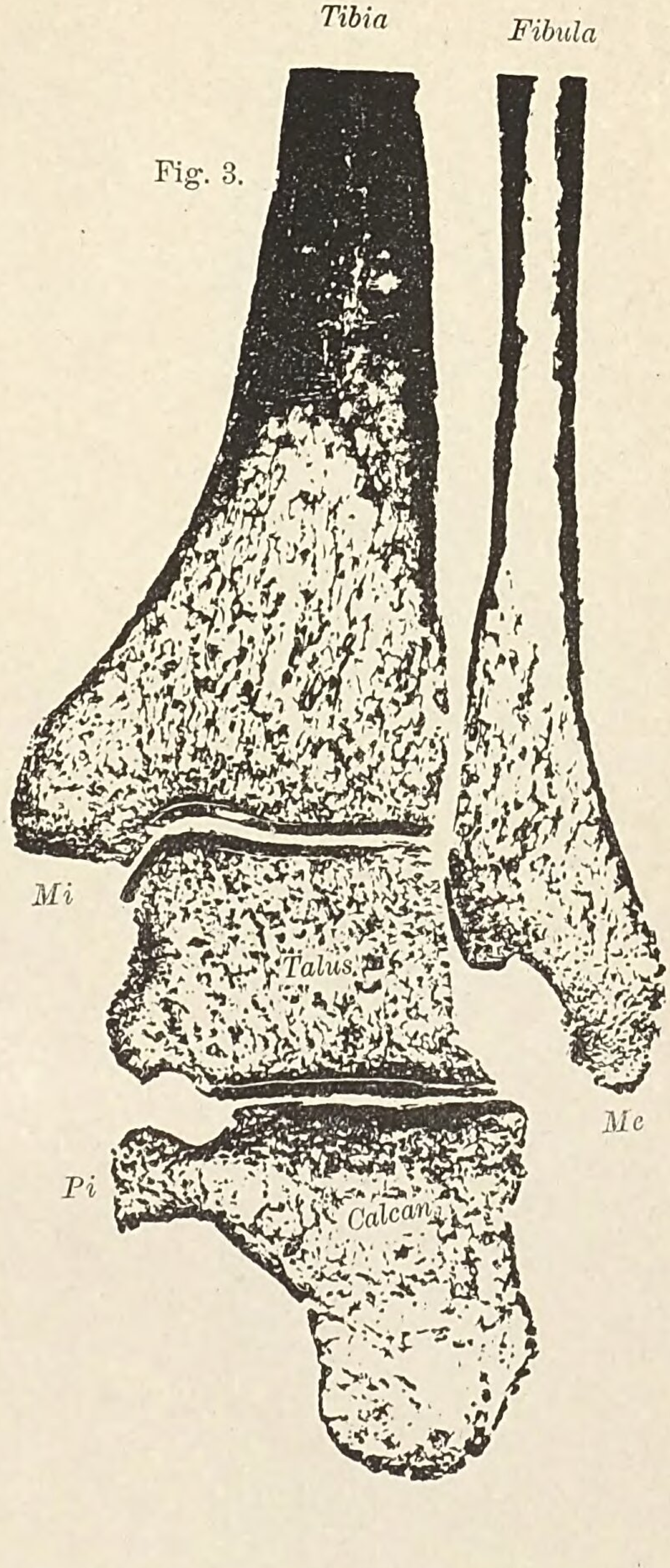

Tibia
Fibula
Talus
Me
Calcan.

Fig. 3.


Tibia
Fibula
Mi
Talus
Mc
Pi
Calcan.

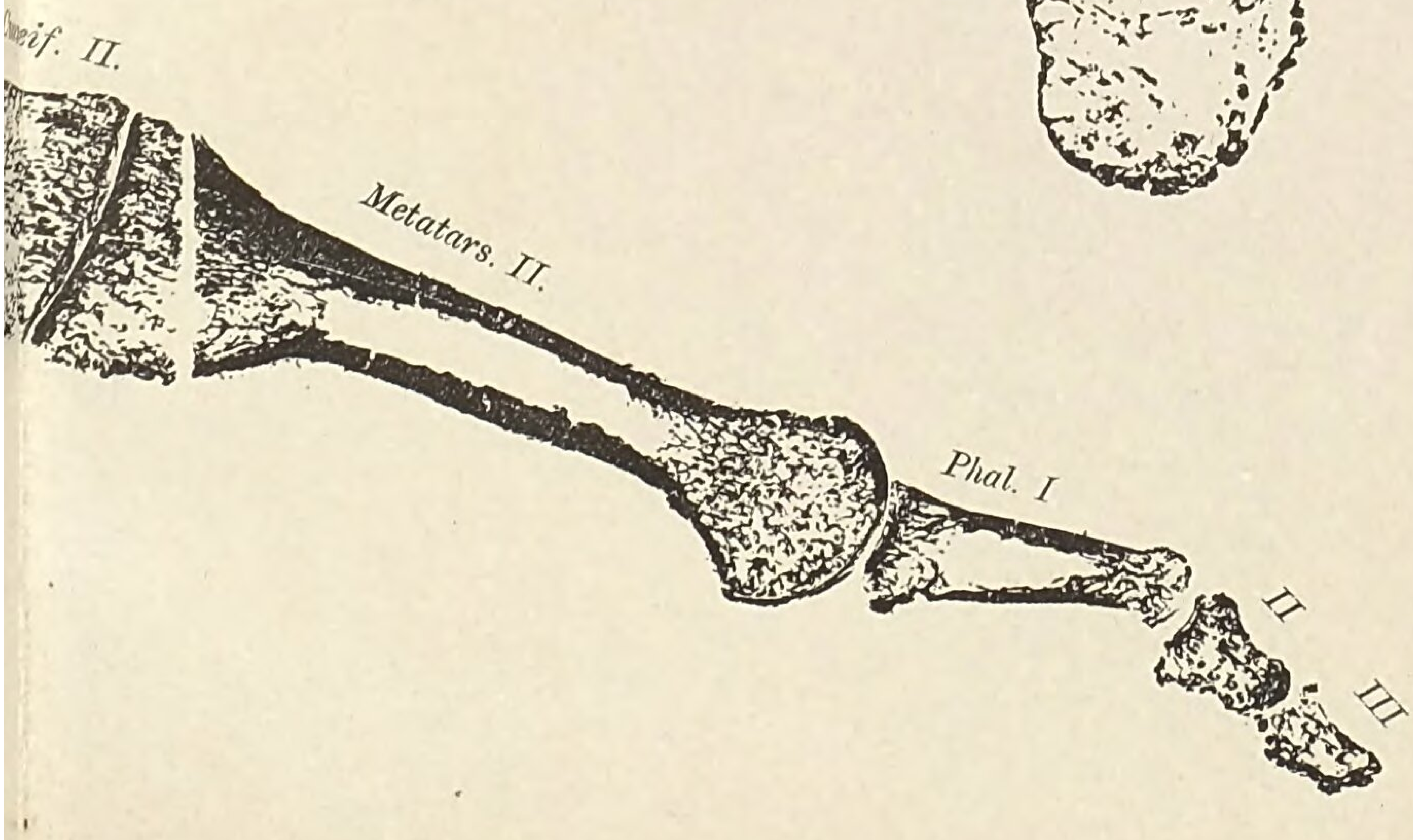

Metatars. II.
Phal. I
II
III



Fig. 7.
§. 9.



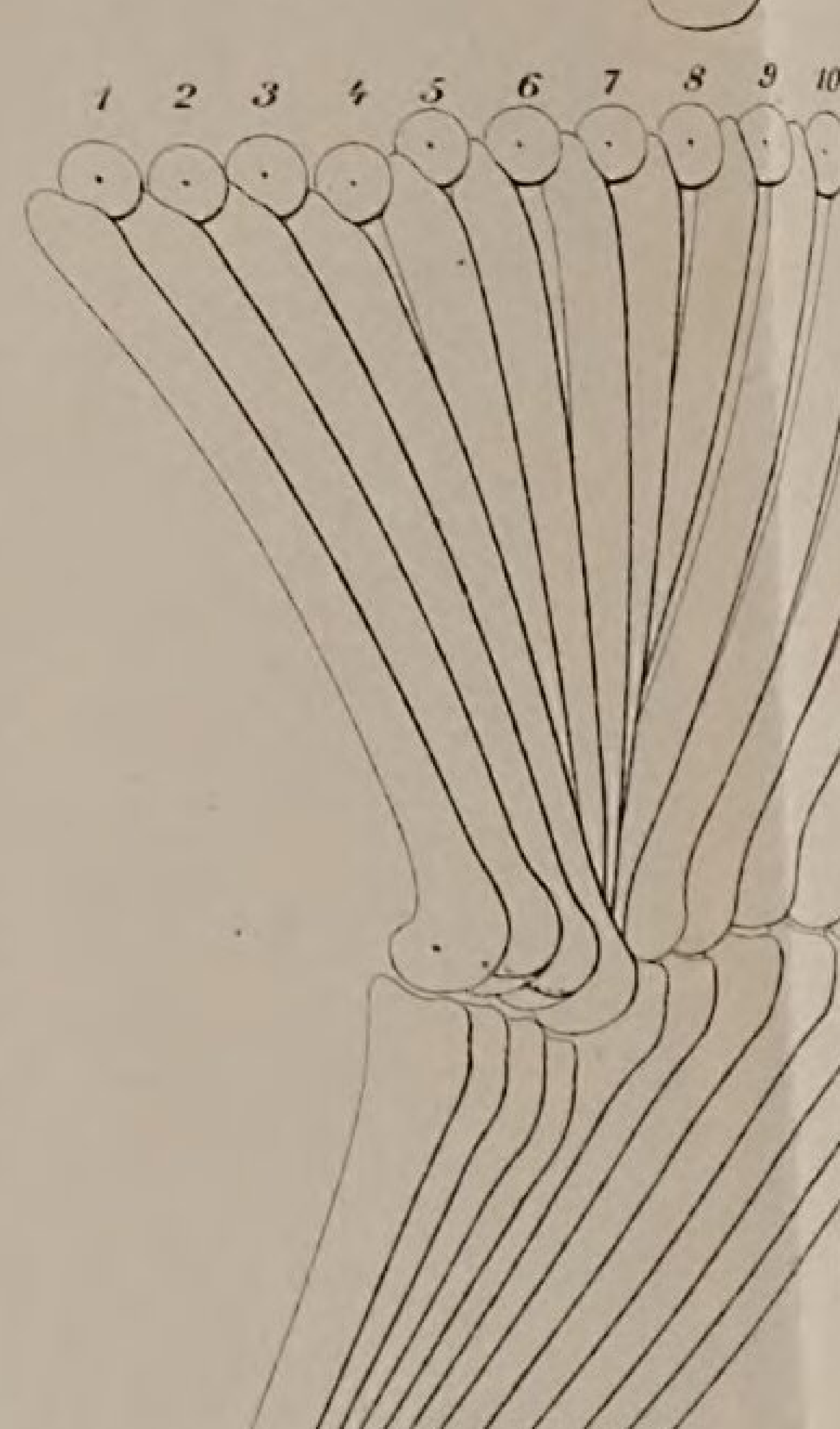


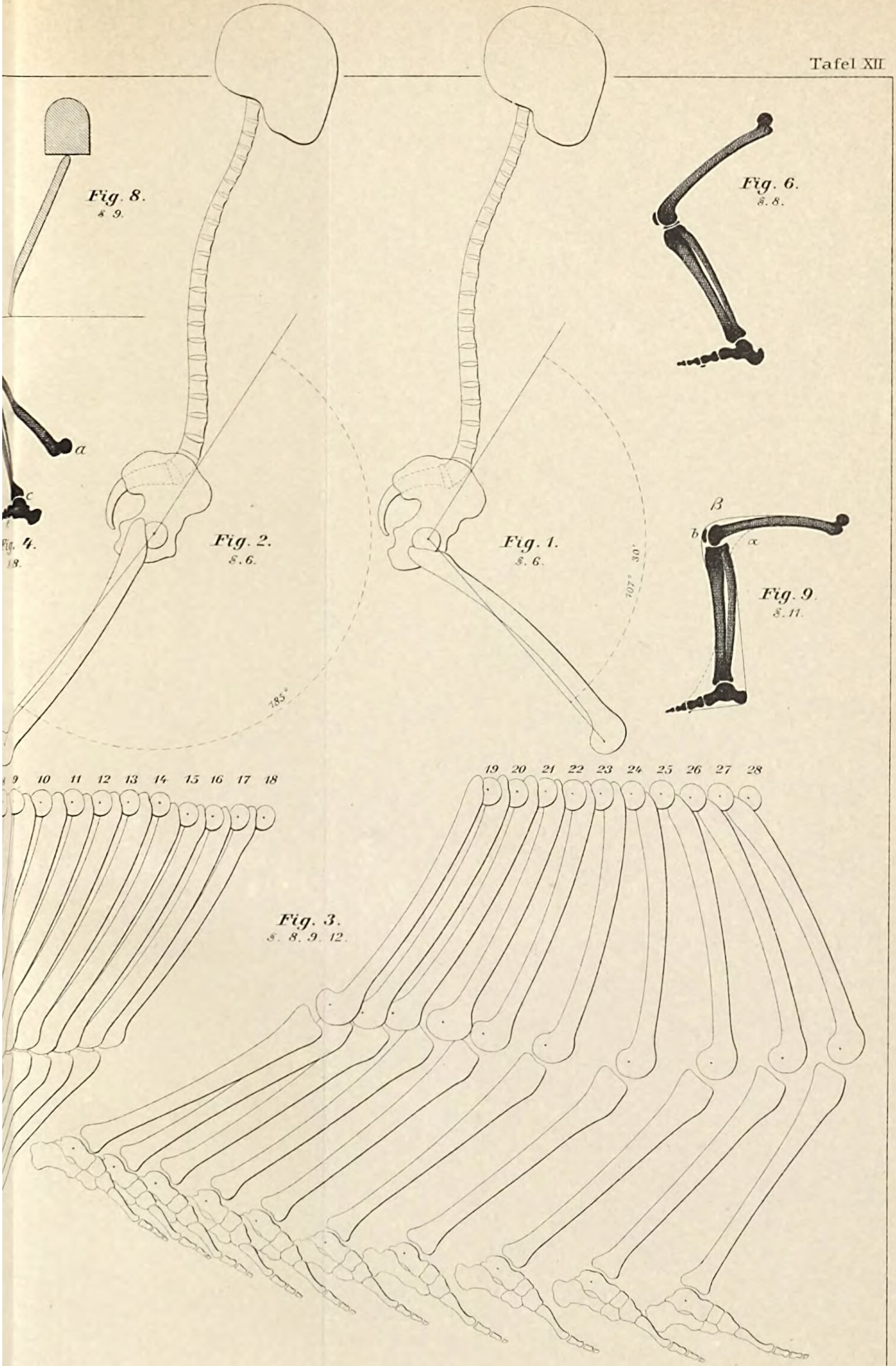
Fig. 5.
§. 8



Fig. 4.
§. 8.






Fig. 8.
§. 9.
a
c
Fig. 4.
§. 8.
Fig. 2.
§. 6.
185°
Fig. 1.
§. 6.
107° 30'
Fig. 6.
§. 8.
β
b
α
Fig. 9.
§. 11.
9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
19 20 21 22 23 24 25 26 27 28
Fig. 3.
§. 8. 9. 12.

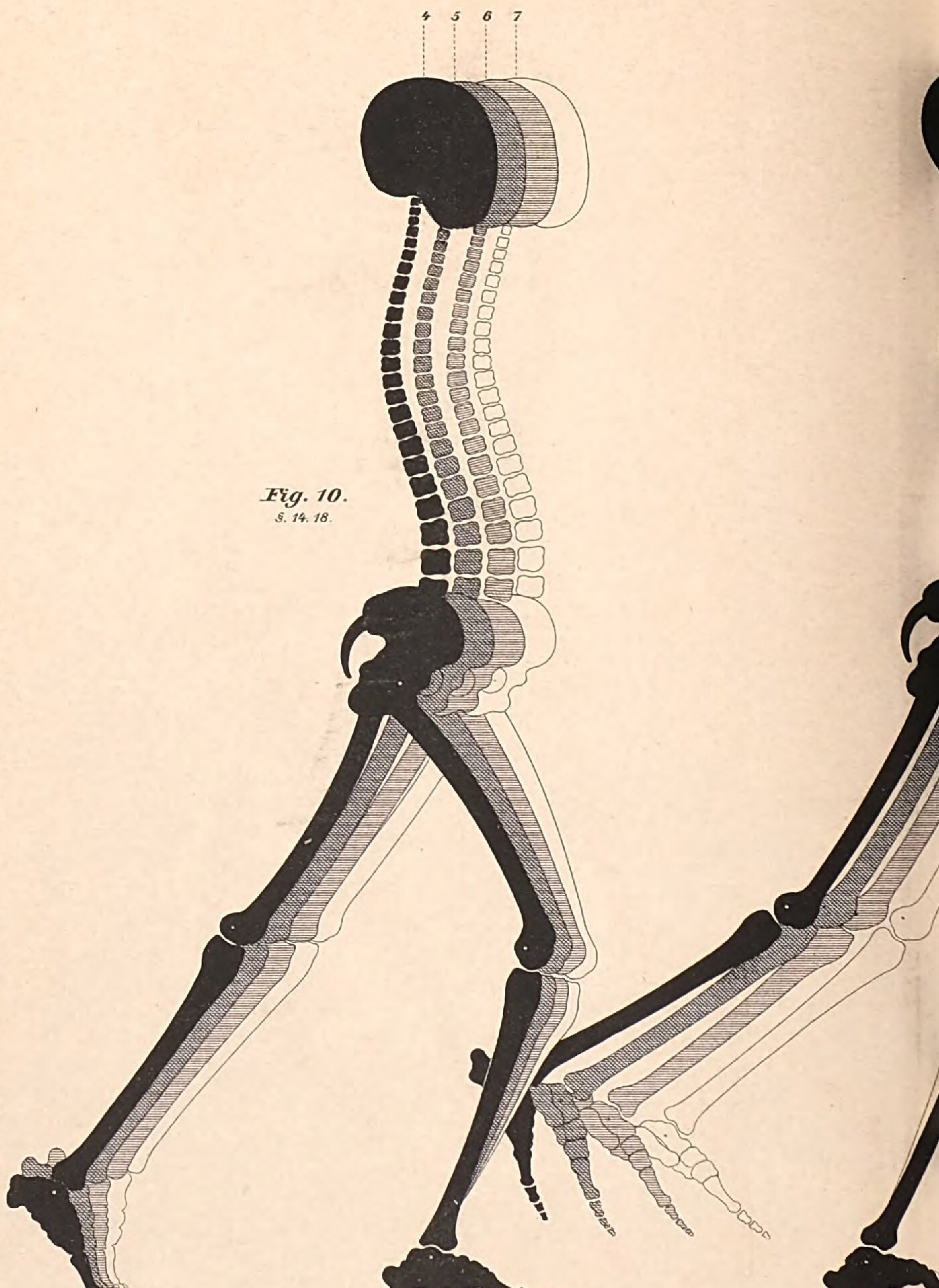
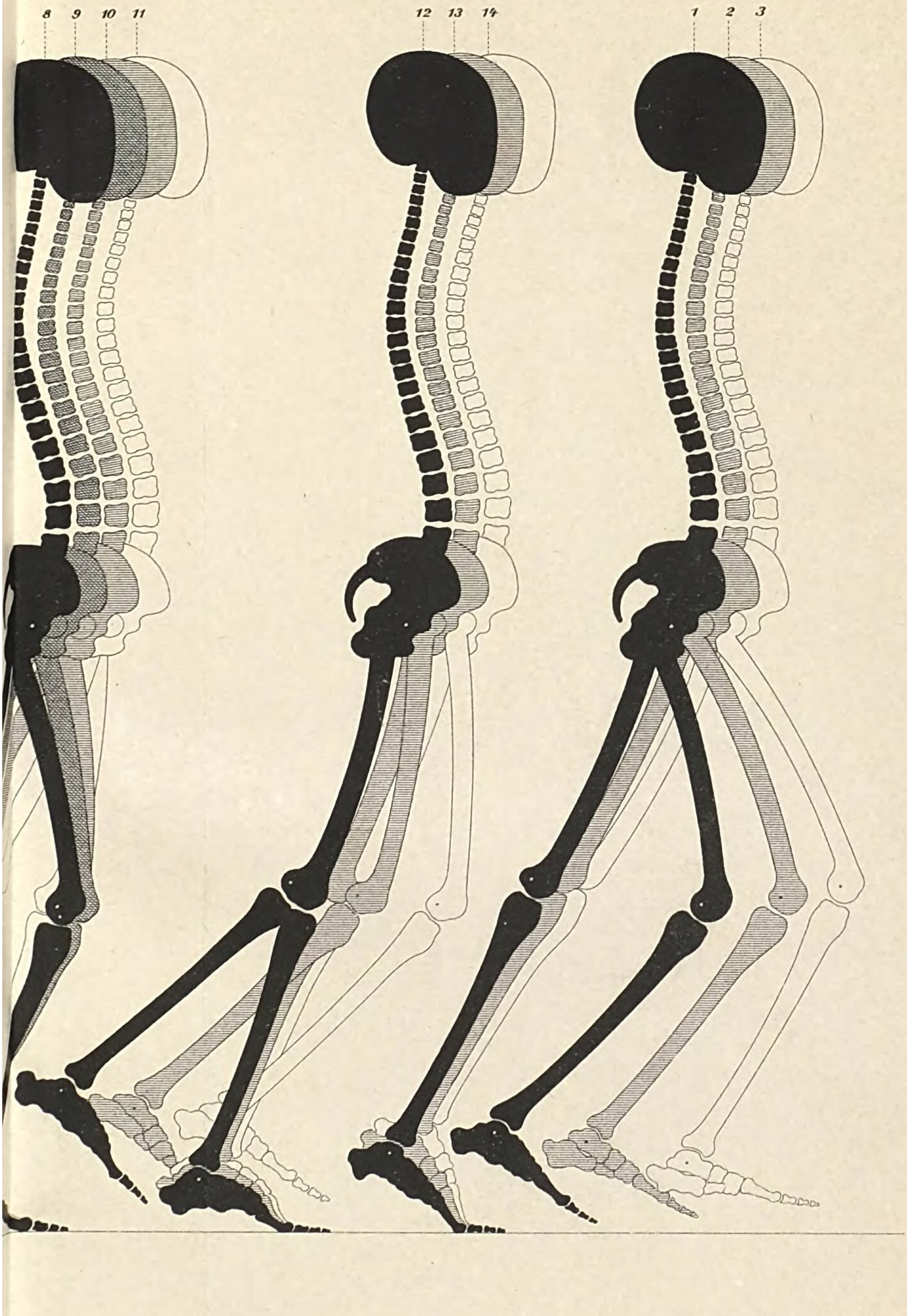


Fig. 10.
S. 14. 18.


8
9
10
11
12
13
14
1
2
3

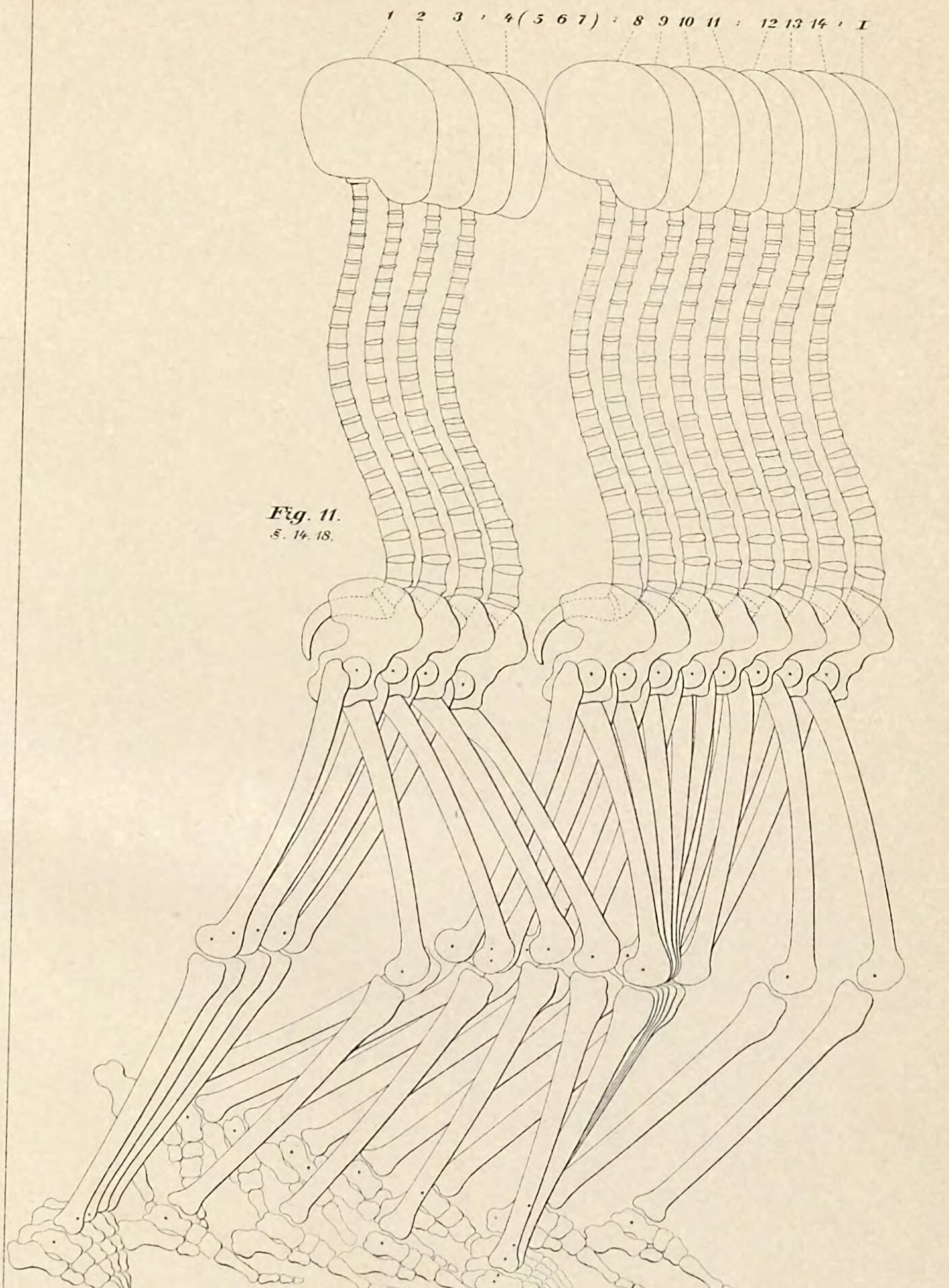


Fig. 11.
S. 14. 18.

Fig. 12.
S. 21. 138.

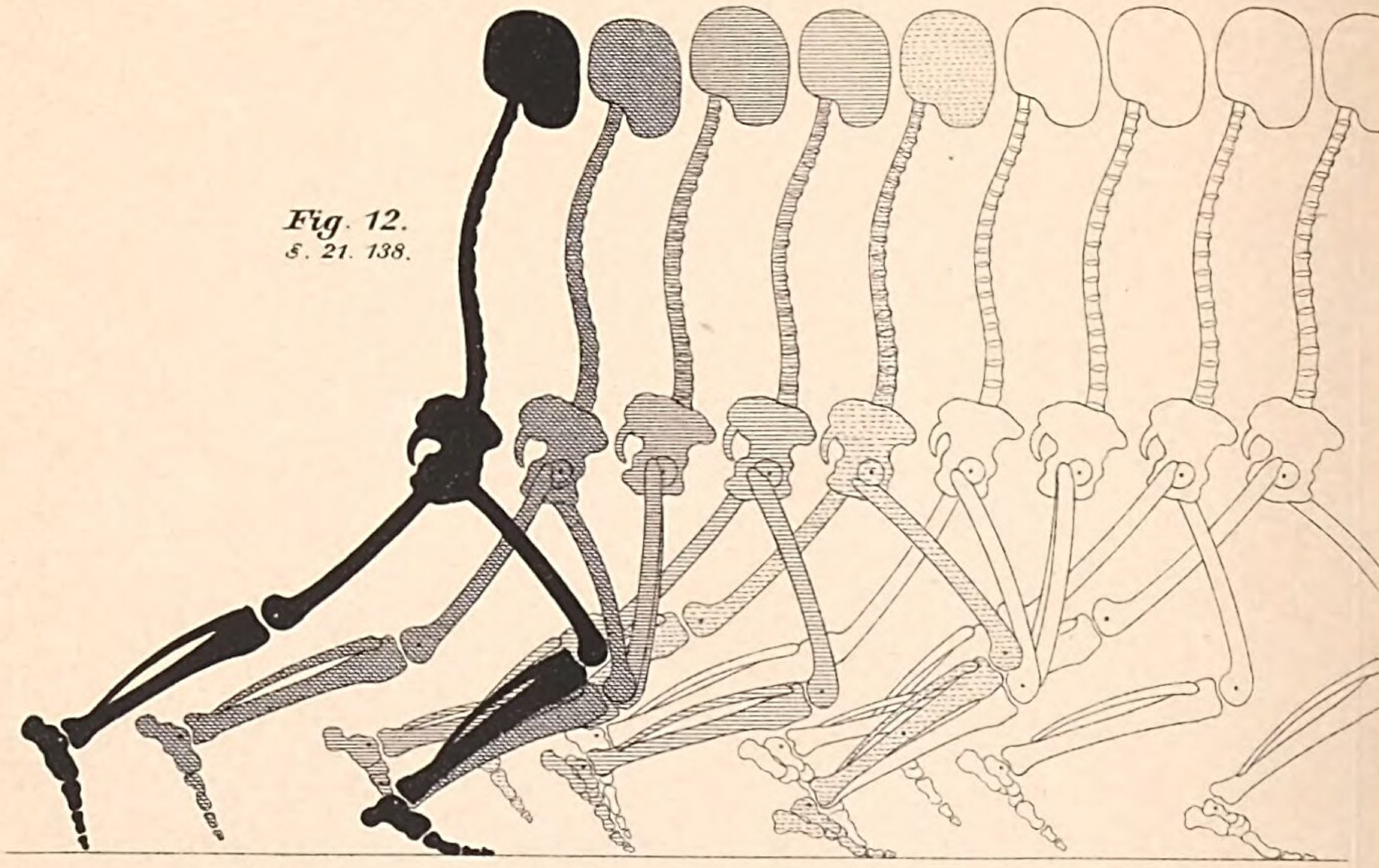
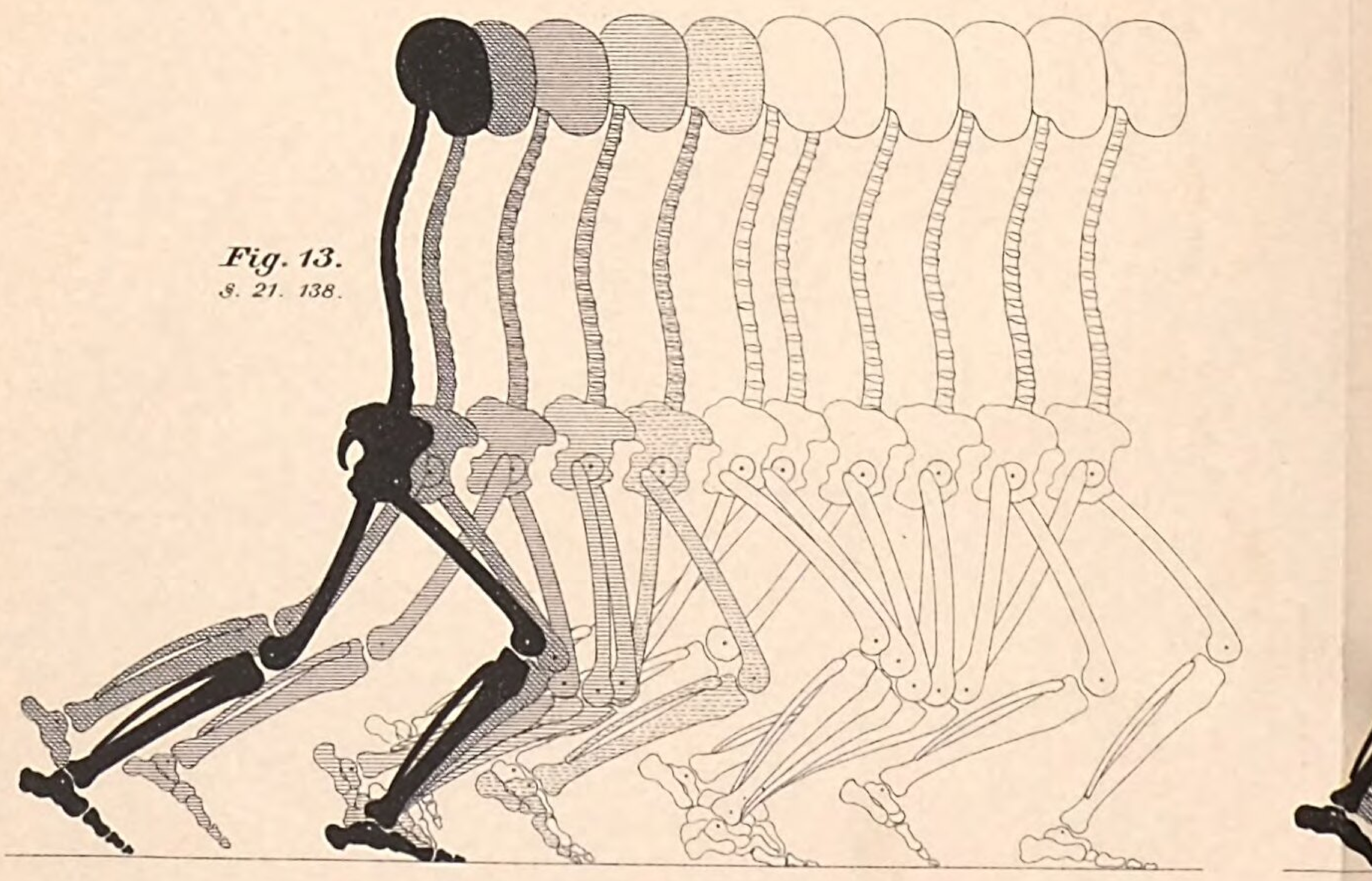


Fig. 13.
S. 21. 138.



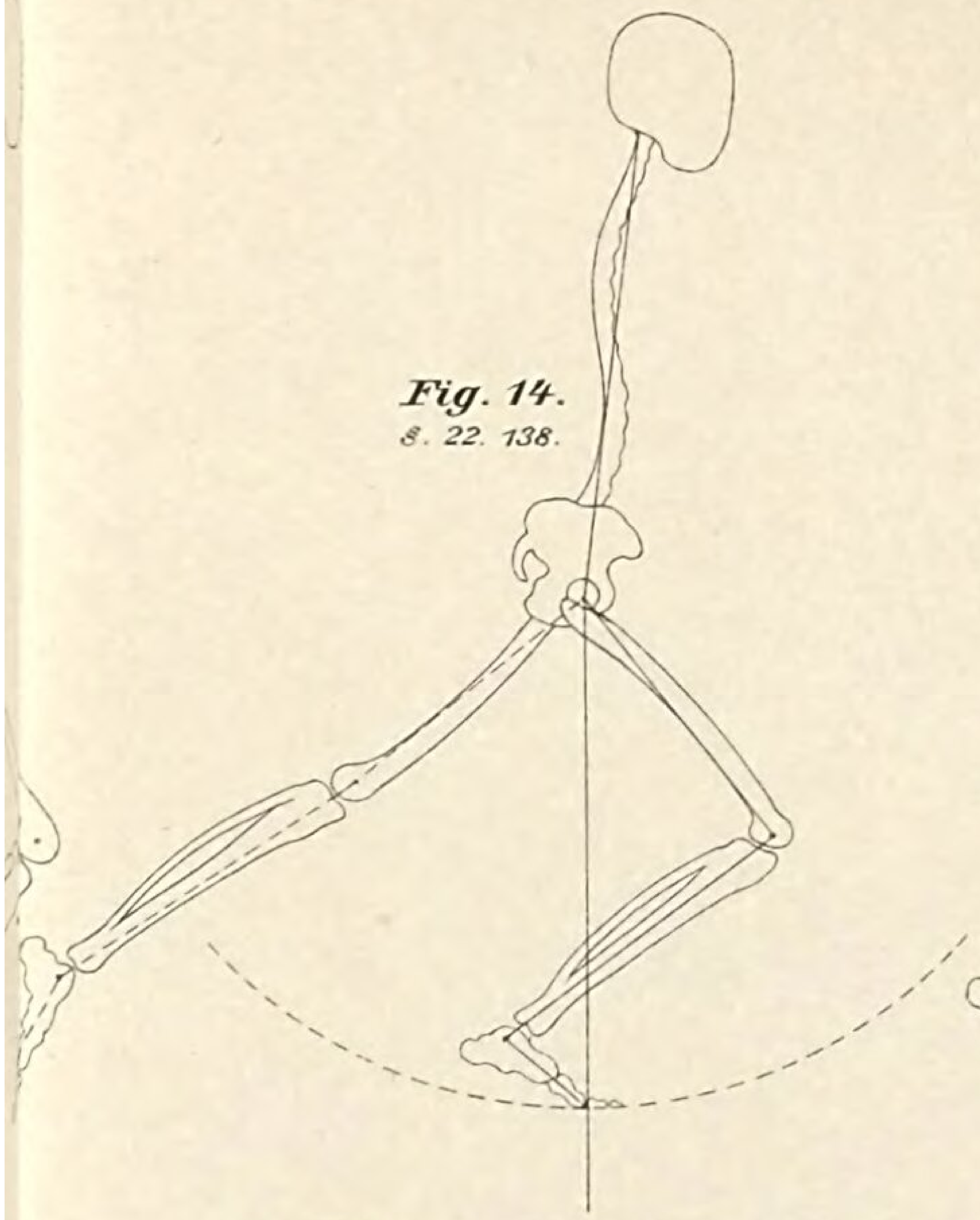


Fig. 14.
§. 22. 138.

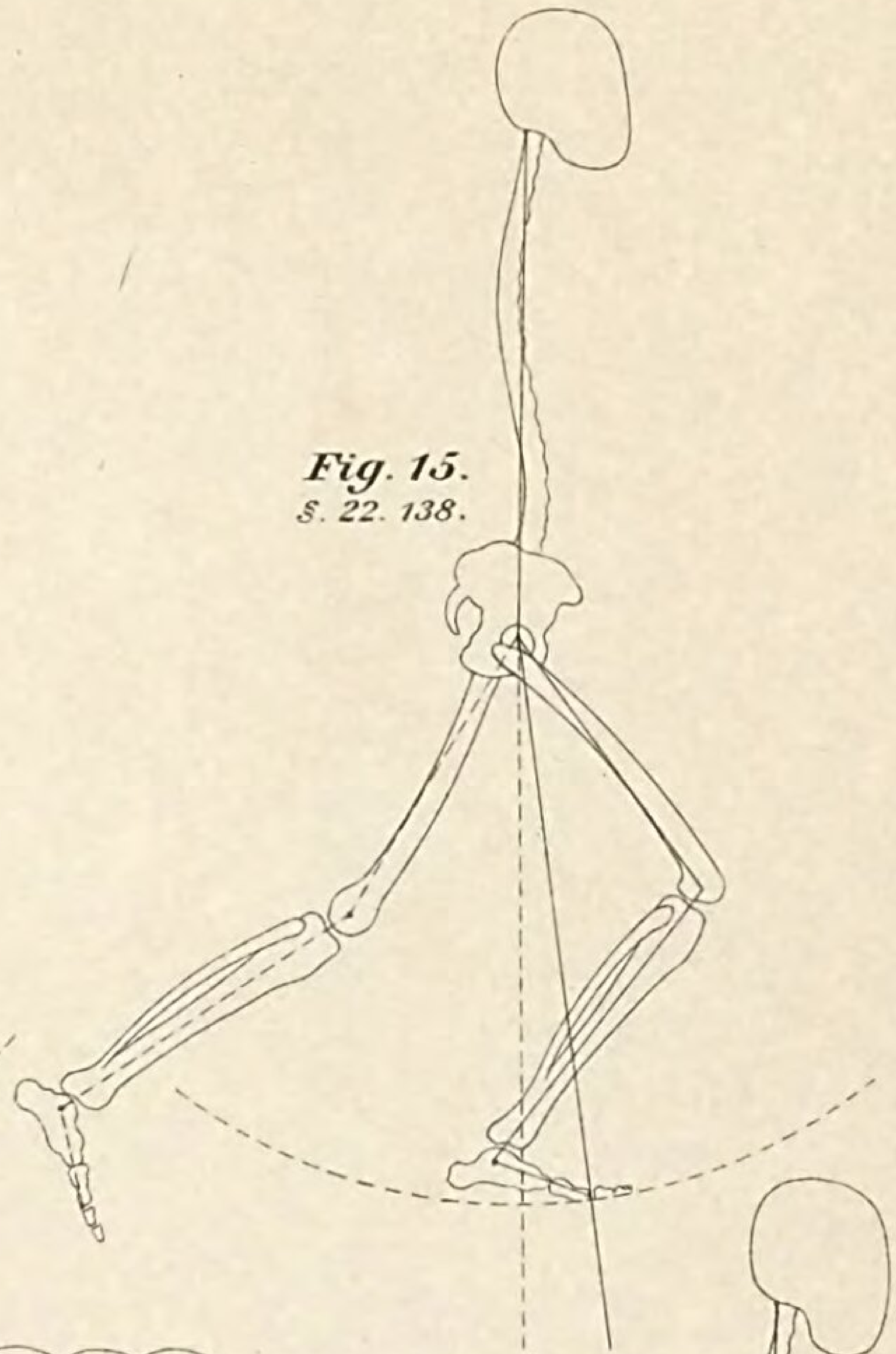


Fig. 15.
§. 22. 138.

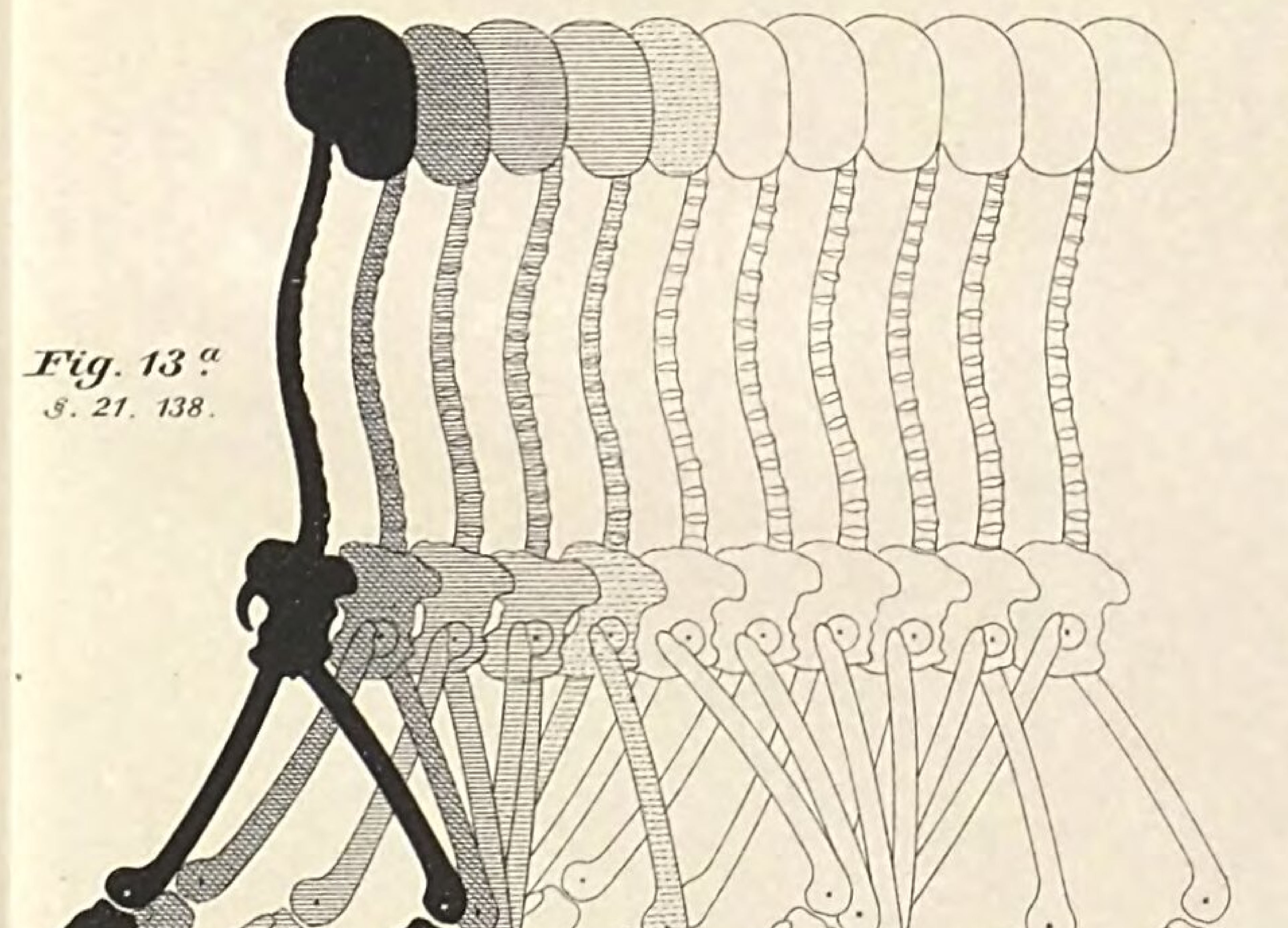


Fig. 13.a
§. 21. 138.

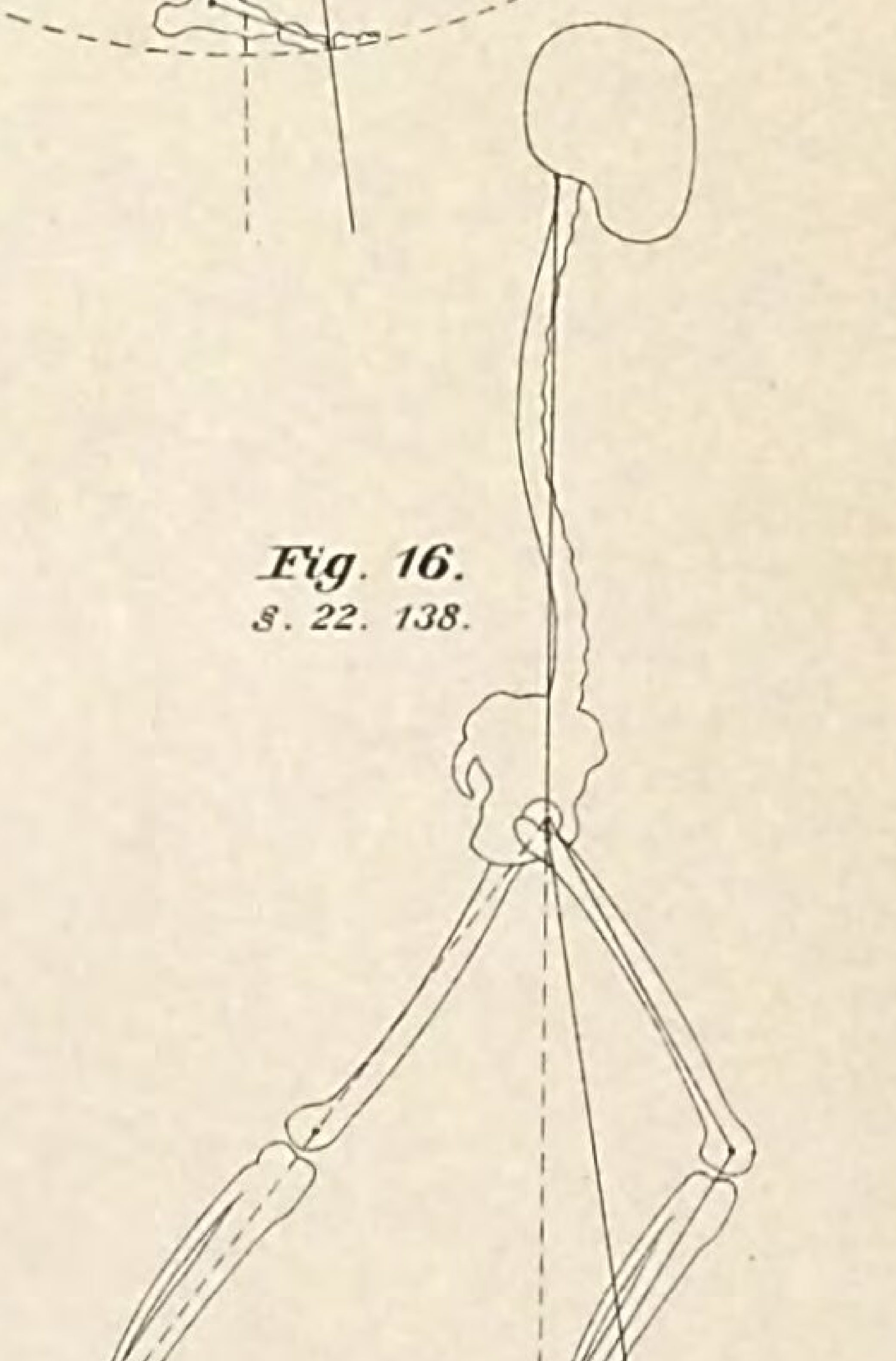


Fig. 16.
§. 22. 138.



Fig. 40.
S. 154.

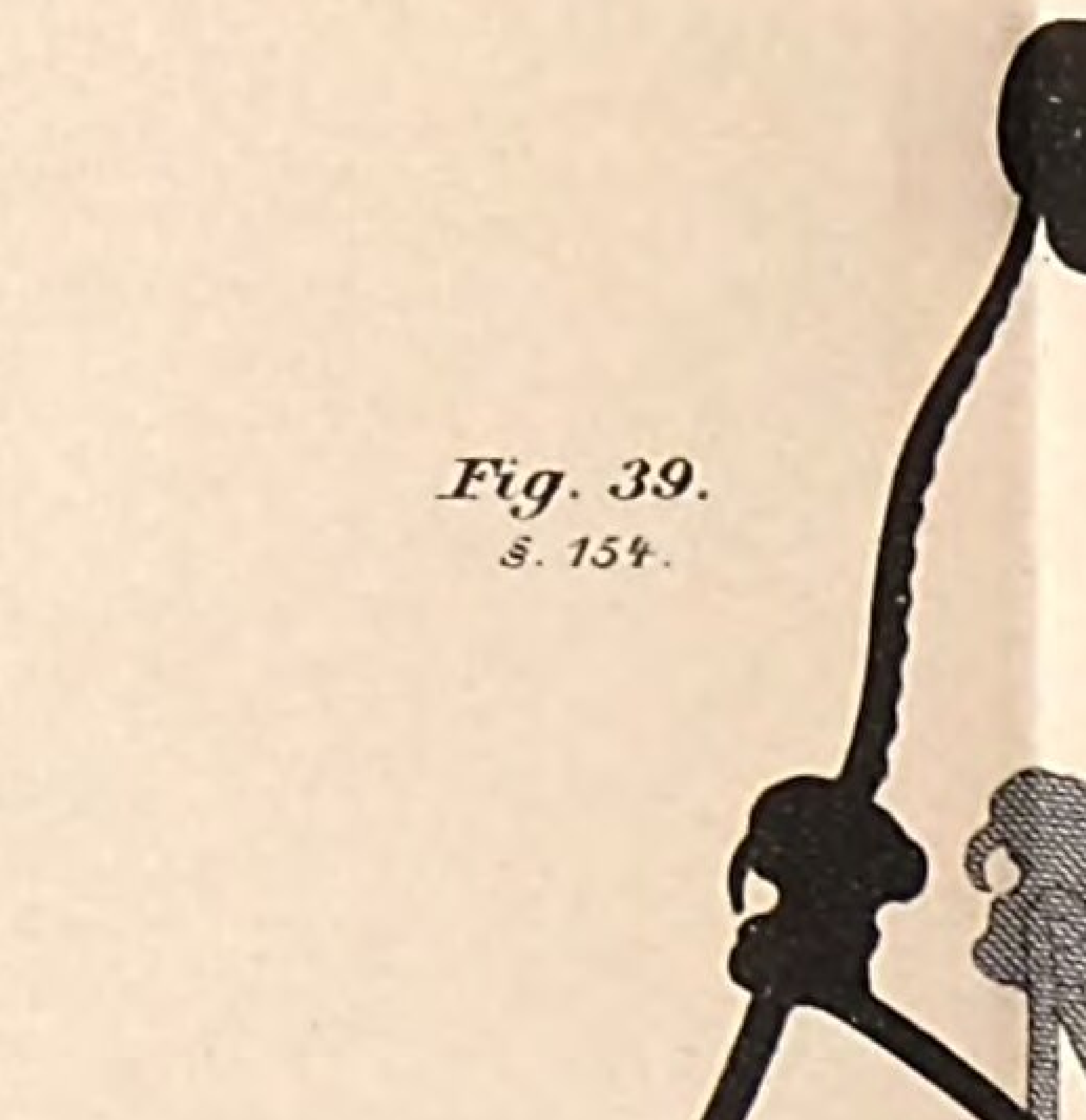
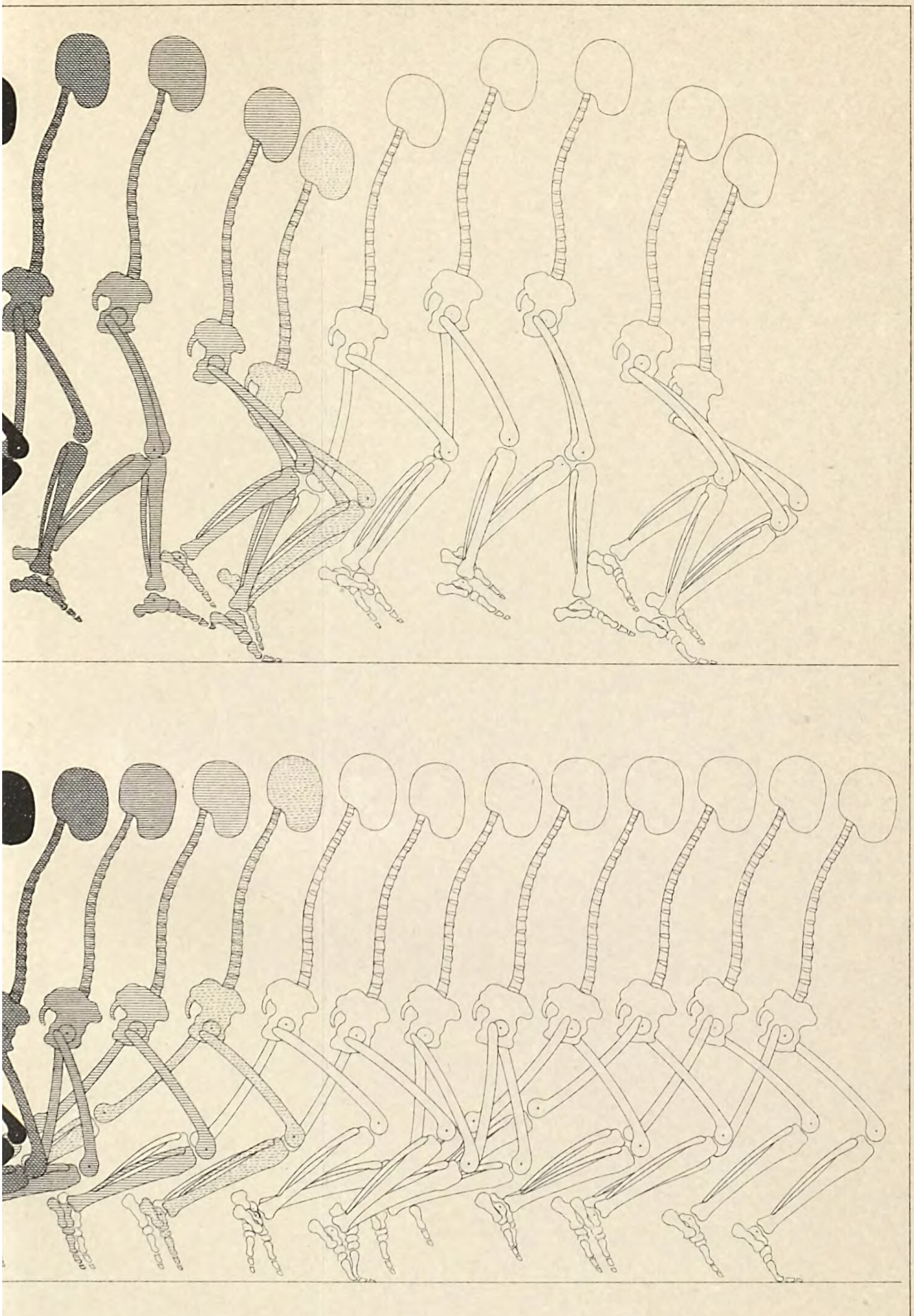
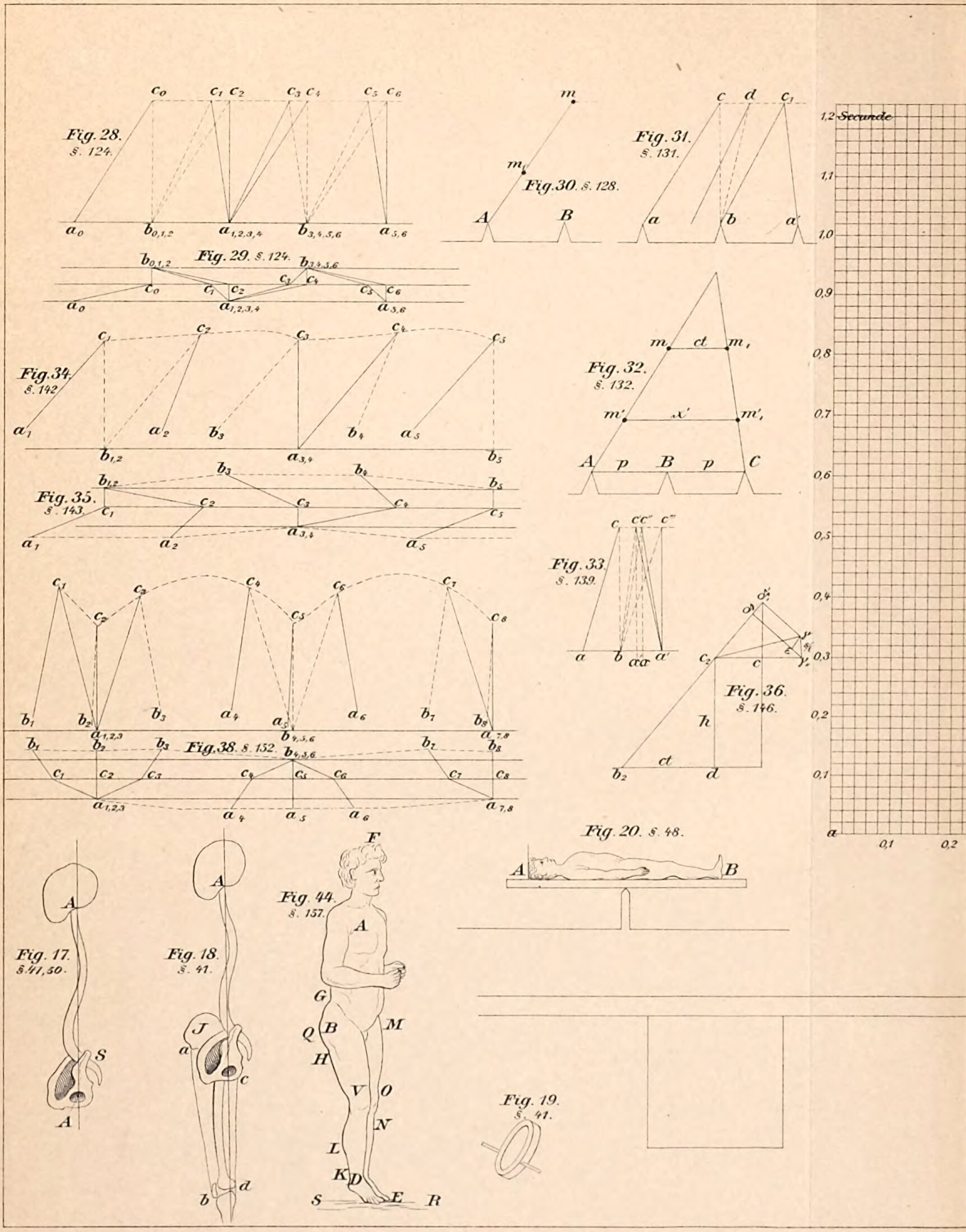


Fig. 39.
S. 154.



Weber VI


Fig. 28. §. 124.
Fig. 29. §. 124.
Fig. 30. §. 128.
Fig. 31. §. 131.
Fig. 32. §. 132.
Fig. 33. §. 139.
Fig. 34. §. 142.
Fig. 35. §. 143.
Fig. 36. §. 146.
Fig. 38. §. 152.
Fig. 20. §. 48.
Fig. 17. §. 41, 50.
Fig. 18. §. 41.
Fig. 44. §. 157.
Fig. 19. §. 41.
1,2 Secunde
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
a
0,1
0,2

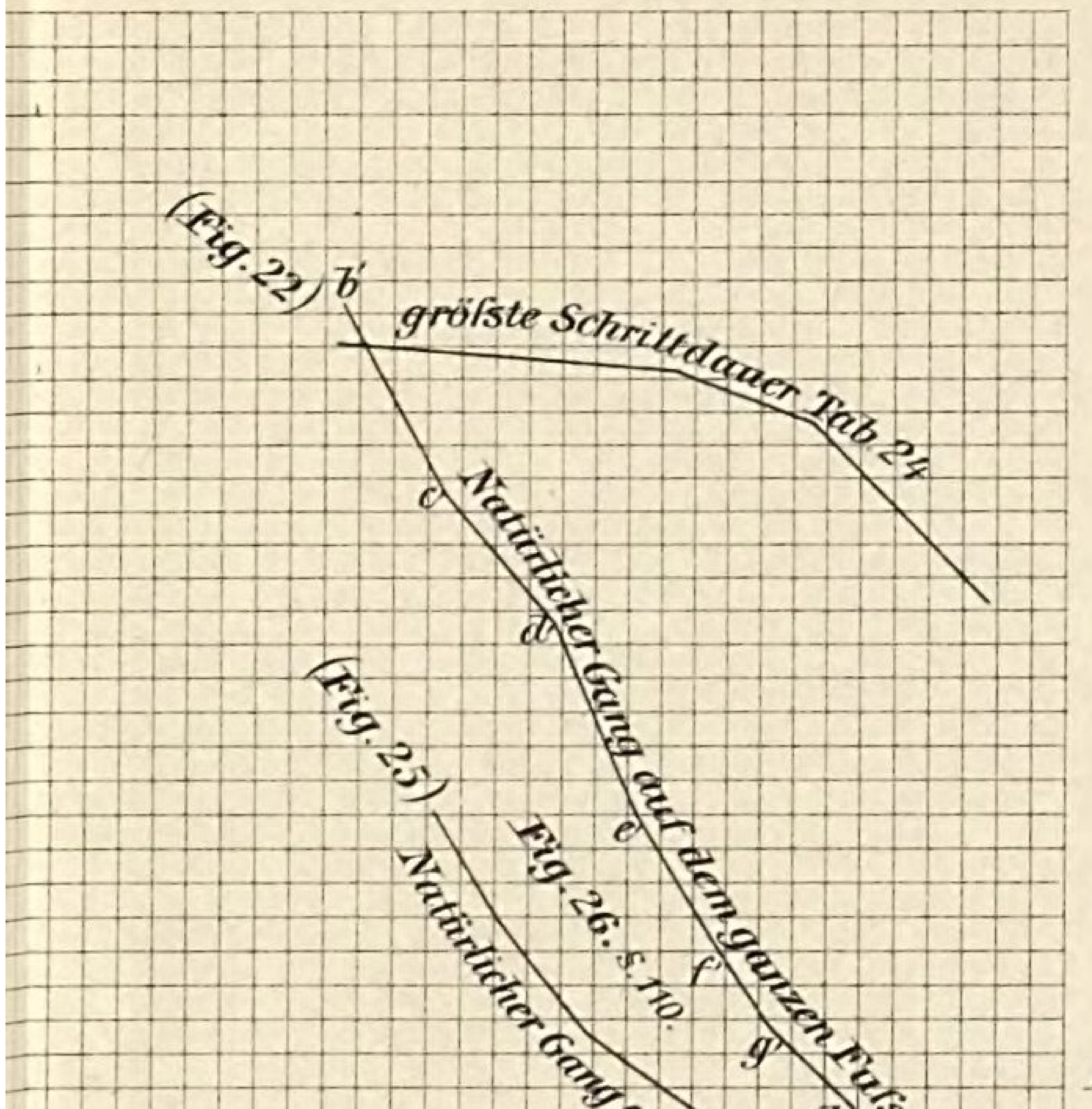
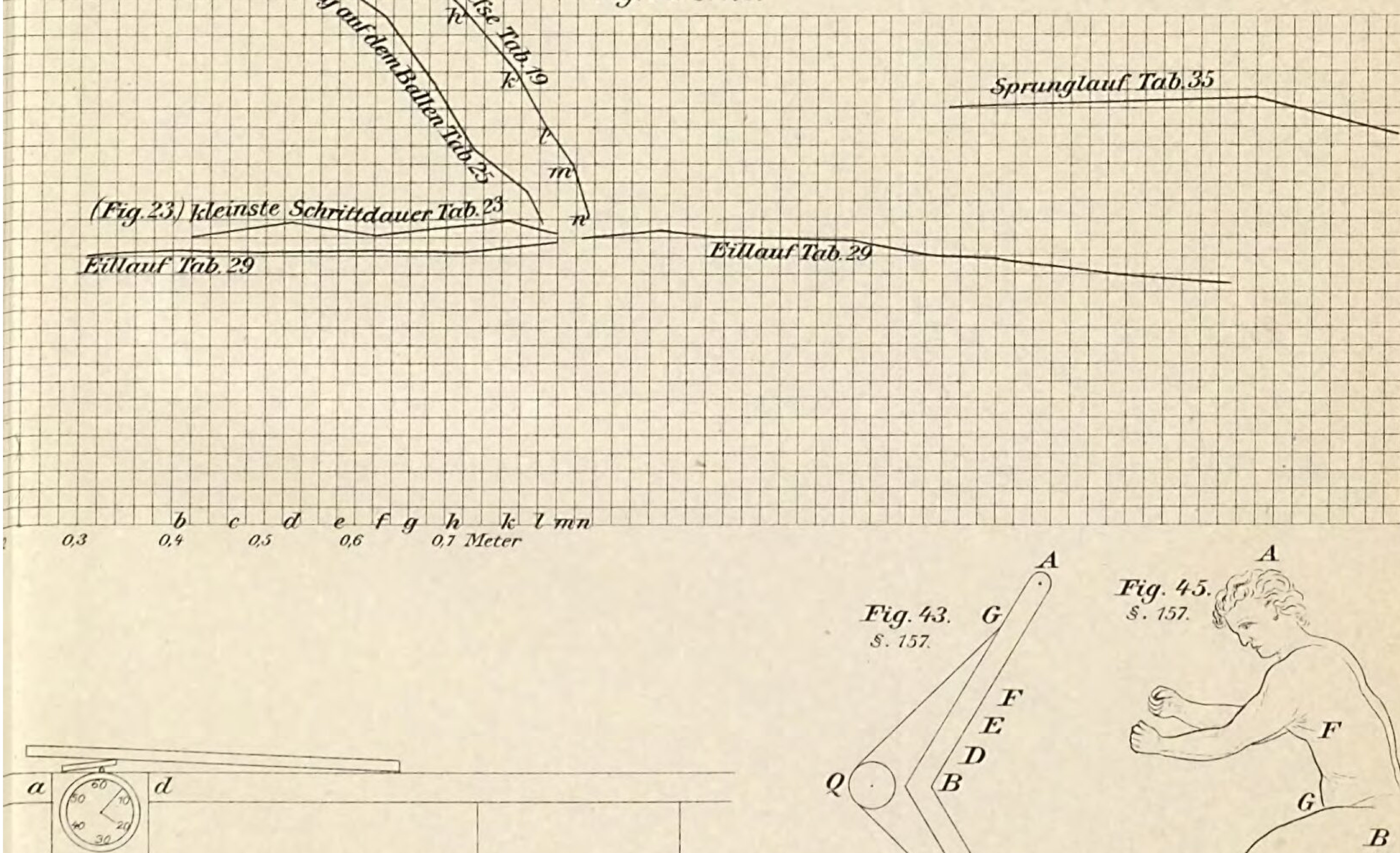



Fig. 24. §. 109.

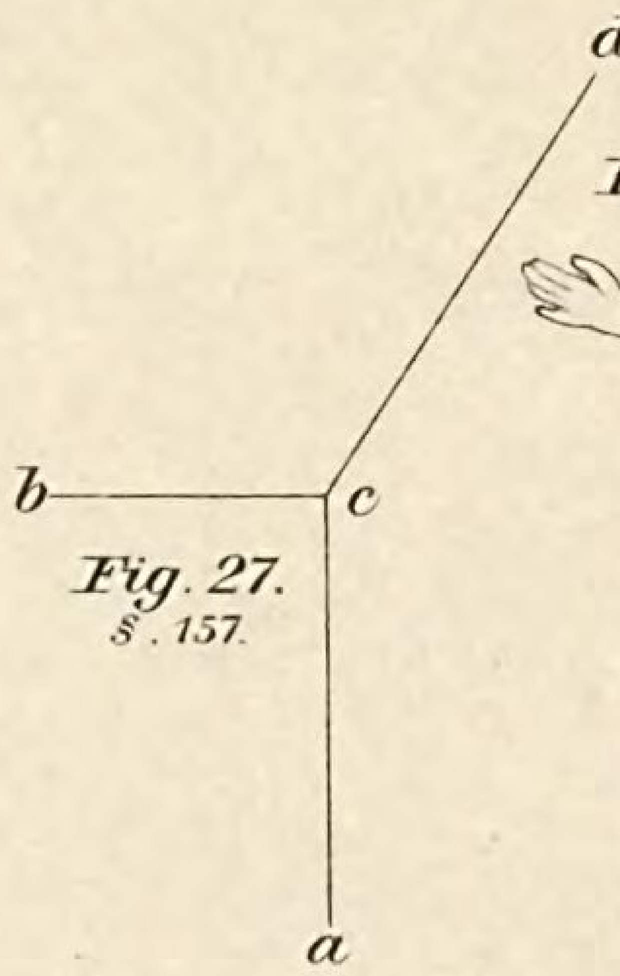


Fig. 27. §. 157.

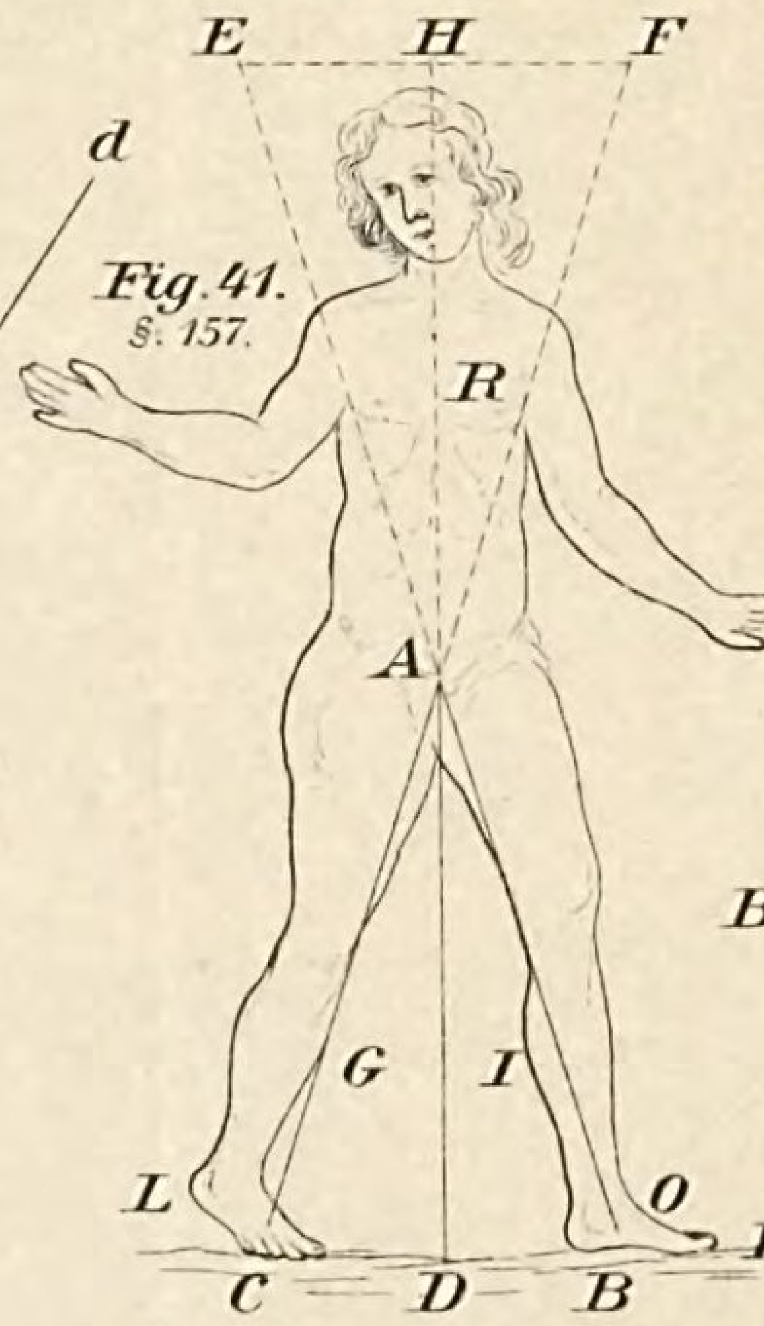


Fig. 41. §. 157.

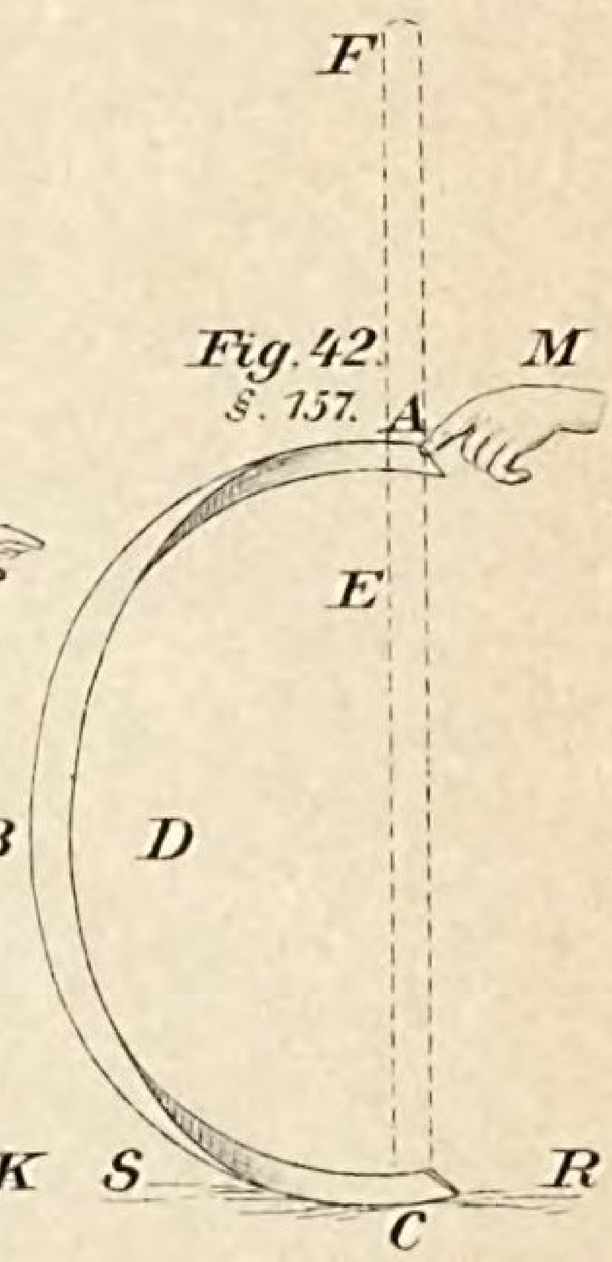


Fig. 42. §. 157.

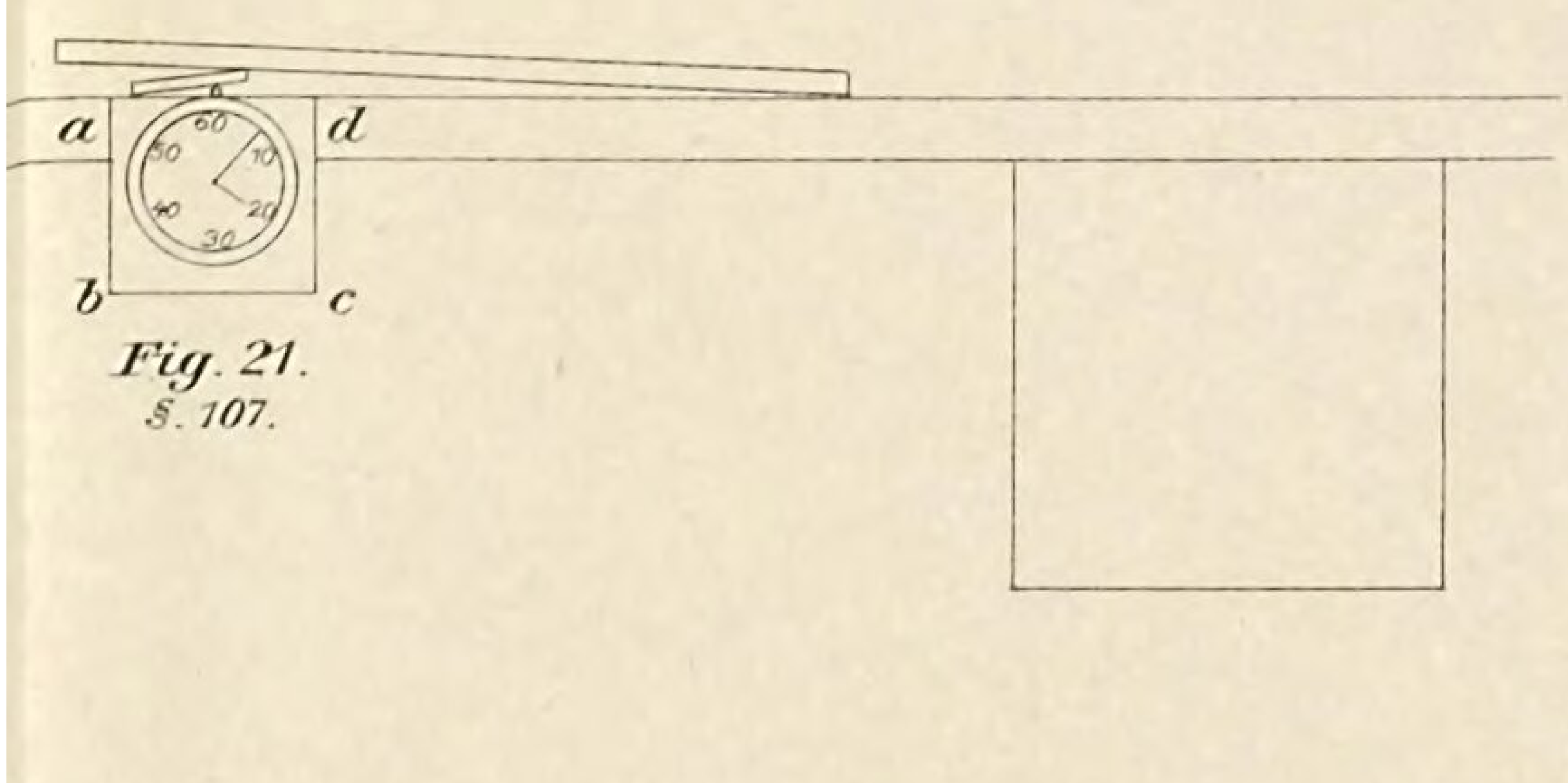


Fig. 21. §. 107.

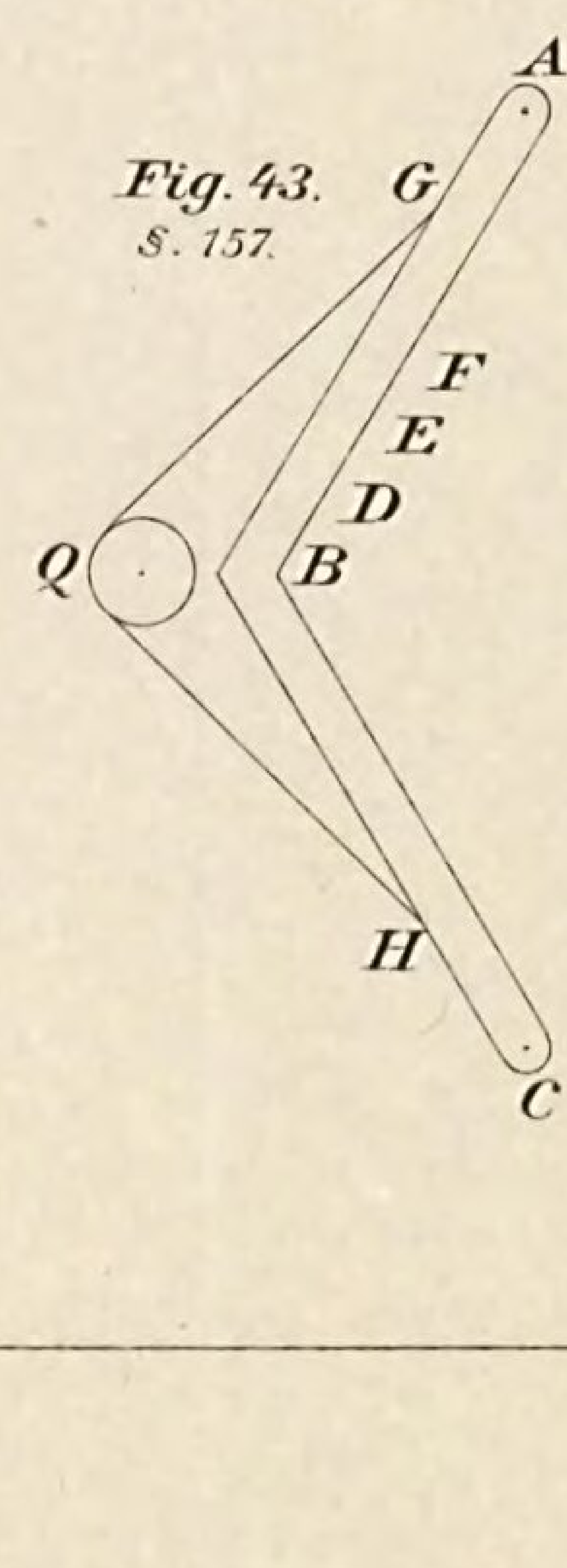


Fig. 43. §. 157.

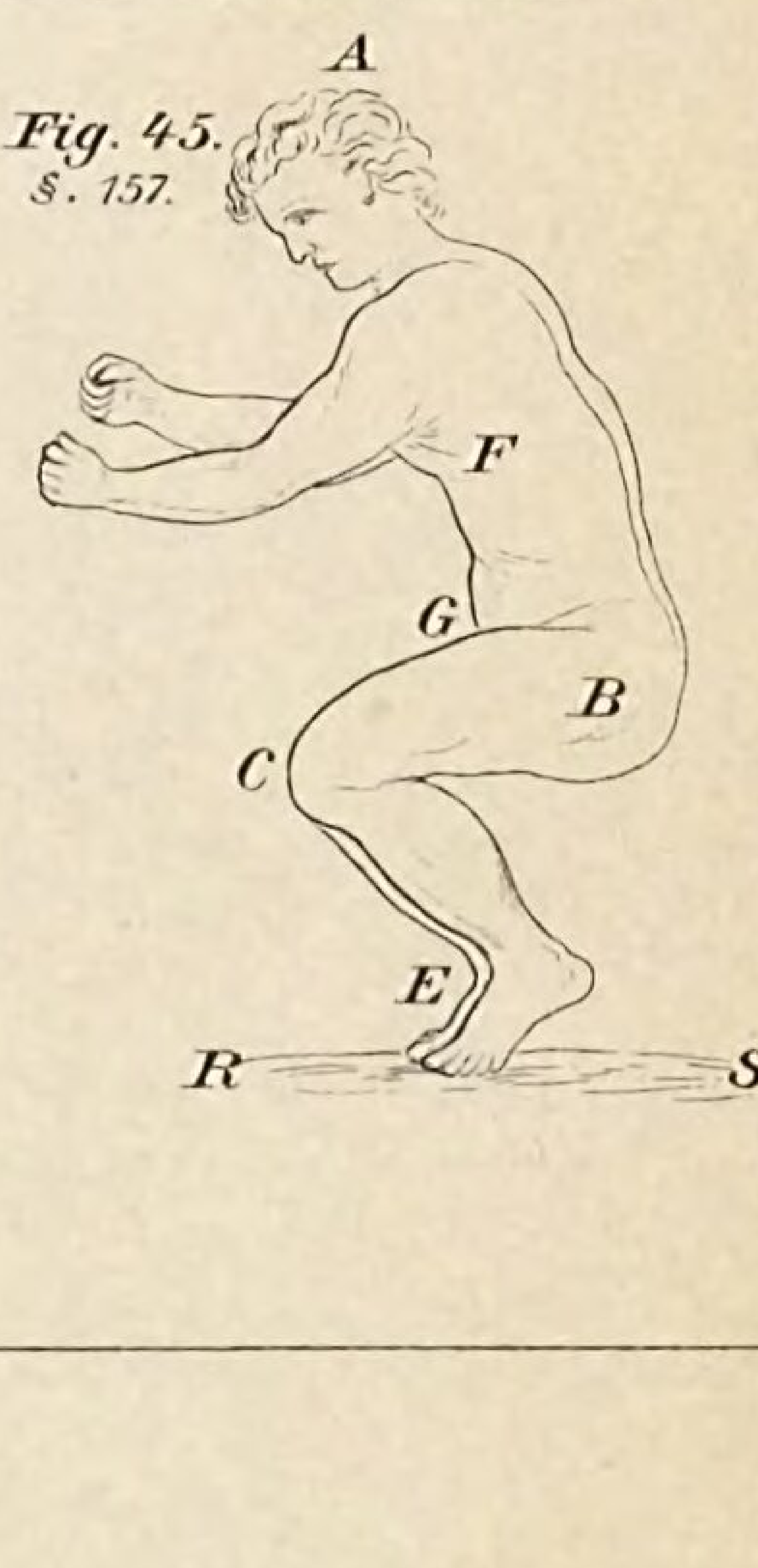


Fig. 45. §. 157.

sieben Schriften von Wilhelm Weber über die *Elektrodynamischen Maassbestimmungen,* sowie denjenigen der in ihren Berichten erschienenen kleineren Aufsätze genehmigt. Die Erben von Rudolph Kohlrausch haben der Aufnahme der mit jenem gemeinsam verfassten Arbeiten gern zugestimmt.

Nach dem im Juni 1891 erfolgten Tode Wilhelm Weber's sind dessen Papiere durchgesehen worden und es hat sich literarischer Nachlass vorgefunden, welcher die *Elektrodynamik* betrifft. Derselbe ist bei den zugehörigen Untersuchungen in den gesammelten Werken veröffentlicht worden.

Wilhelm Weber's gesammelte Werke sind in 6 Bänden erschienen:

Band I: **Akustik, Mechanik, Optik und Wärmelehre.** Besorgt durch Woldemar Voigt (Göttingen).

Band II: **Magnetismus.** Besorgt durch Eduard Riecke (Göttingen).

Band III und IV: **Galvanismus und Elektrodynamik.** Besorgt durch Heinrich Weber (Braunschweig).

Band V: **Wellenlehre auf Experimente gegründet.** Besorgt durch Eduard Riecke (Göttingen).

Band VI: **Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge.** Besorgt durch Friedrich Merkel (Göttingen) und Otto Fischer (Leipzig).

Die Kommission
für die Herausgabe der Werke Wilhelm Weber's.
E. Schering, Vorsitzender.

Verlag von Julius Springer in Berlin N.

Michael Faraday:

Experimental-Untersuchungen über Elektricität. Deutsche Uebersetzung von Dr. S. Kalischer, Privatdocenten an der Technischen Hochschule zu Berlin. In 3 Bänden. Mit in den Text gedruckten Abbildungen und Tafeln.
I. Band. Preis M. 12,—; geb. M. 13,20. II. Band. Preis M. 8,—; geb M. 9,20. III. Band. Preis M. 16,—; geb. M. 17,20.

M. Fourier:

Analytische Theorie der Wärme. Deutsche Ausgabe von Dr. B. Weinstein. Mit 21 in den Text gedruckten Holzschnitten. Preis M. 12,—; geb. M. 13,20.

Carl Friedrich Gauss:

Untersuchungen über höhere Arithmetik. (Disquisitiones arithmeticae. Theorematis arithmetici demonstratio nova. Summatio quarumdam serierum singularium. Theorematis fundamentalis in doctrina de residuis quadraticis demonstrationes et ampliationes novae. Theoria residuorum biquadraticorum, commentatio prima et secunda. Etc.) Deutsch herausgegeben von H. Maser.
Preis M. 14,—; geb. M. 15,40.

Allgemeine Untersuchungen über die unendliche Reihe

$$1 + \frac{\alpha\,\beta}{1\,.\,\gamma}x + \frac{\alpha\,(\alpha+1)\,\beta\,(\beta+1)}{1\,.\,2\,.\,\gamma\,(\gamma+1)}xx + \frac{\alpha\,(\alpha+1)\,(\alpha+2)\,\beta\,(\beta+1)\,(\beta+2)}{1\,.\,2\,.\,3\,.\,\gamma\,(\gamma+1)\,(\gamma+2)}x^3 + \text{u. s. w.}$$

Mit Einschluss der nachgelassenen Fortsetzung aus dem Lateinischen übersetzt von Dr. Heinrich Simon. Preis M. 3,—.

J. L. Lagrange:

Analytische Mechanik. Deutsch herausgegeben von Dr. H. Servus. Preis M. 16,—; geb. M. 17,20.

E. Mascart und J. Joubert:

Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus. Autorisirte deutsche Uebersetzung von Dr. Leopold Levy. In 2 Bänden. Mit zahlreichen in den Text gedruckten Abbildungen.
Preis M. 30,—; geb. M. 32,40.

Émile Mathieu:

Theorie des Potentials und ihre Anwendungen auf Elektrostatik und Magnetismus. Autorisirte deutsche Ausgabe von H. Maser. Mit 18 in den Text gedruckten Figuren. Preis M. 10,—

James Clerk Maxwell:

Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus. Autorisirte deutsche Uebersetzung von Dr. B. Weinstein. In 2 Bänden. Mit zahlreichen Holzschnitten und 21 Tafeln. Preis M. 26,—; geb. M. 28,40.

H. Poincaré:

Elektricität und Optik. Vorlesungen. Autorisirte deutsche Ausgabe von Dr. W. Jaeger und Dr. E. Gumlich. In 2 Bänden. Band I: Die Maxwell'schen Theorien und die elektromagnetische Lichttheorie. Mit 39 in den Text gedruckten Figuren. Preis M. 8,—.
Band II: Die Theorien von Ampère und Weber. Die Theorie von Helmholtz und die Versuche von Hertz. Mit 15 in den Text gedruckten Figuren. Preis M. 7,—.

H. A. Schwarz:

Gesammelte mathematische Abhandlungen. In zwei Bänden. Mit zahlreichen Textfiguren und 4 Tafeln.
Preis M. 25,—; geb. M. 28,—.

Werner Siemens:

Wissenschaftliche und technische Arbeiten. I. Band: Wissenschaftliche Abhandlungen und Vorträge. Mit in den Text gedruckten Abbildungen und dem Bildniss des Verfassers. Zweite Auflage.
Preis M. 5,—; geb. M. 6,20.
II. Band: Technische Arbeiten. Mit 204 in den Text gedruckten Abbildungen. Zweite Auflage.
Preis M. 7,—; geb. M. 8,20.

William Thomson:

Gesammelte Abhandlungen zur Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus. (Reprint of Papers on Electrostatics and Magnetism.) Autorisirte deutsche Ausgabe von Dr. L. Levy und Dr. B. Weinstein. Mit 59 in den Text gedruckten Abbildungen und 3 Tafeln. Preis M. 14,—; geb. M. 15,20

J. Violle:

Lehrbuch der Physik. Deutsche Ausgabe von Dr. E. Gumlich, Dr. L. Holborn, Dr. W. Jaeger, Dr. D. Kreichgauer, Dr. St. Lindeck. Mit zahlreichen in den Text gedruckten Figuren.
I. Theil: Mechanik. Erster Band: Allgemeine Mechanik und Mechanik der festen Körper.
Preis M. 10,—; geb. M. 11,20.
Zweiter Band: Mechanik der flüssigen und gasförmigen Körper. Preis M. 10,—; geb. M. 11,20.
II. Theil: Akustik und Optik. Erster Band: Akustik. Preis M. 8,—; geb. M. 9,20.
Zweiter Band: Optik. (In Vorbereitung.)
III. Theil: Wärme und IV. Theil: Elektricität und Magnetismus werden nach Ausgabe des französischen Originals erscheinen.

— *Zu beziehen durch jede Buchhandlung.* —

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Weber, Wilhelm,

Werke Herausgegeben von der K. Gesellschaft der Wissenschaften zur Gö
ttingen

Bd.: 6

1894

4 Phys.g. 178 s-6
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11521561-5